К. Ги

Введение в локальные вычислительные сети



«Радио и связь»

К. Ги Введение в локальные вычислительные сети



Введение в локальные вычислительные сети

Introduction to Local Area Computer Networks

K.C.E. Gee

The National Computing Centre Limited
Manchester



MACMILLAN PRESS
LONDON

К. ГИ

Введение в локальные вычислительные сети

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО
Л. Б. БОГУСЛАВСКОГО

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
Б. С. ИРУГОВА



МОСКВА
«РАДИО И СВЯЗЬ»
1986

ББК 32.97
Г 46
УДК 681.324

Ги К.

Г 46 Введение в локальные вычислительные сети: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1986. — 176 с.: ил.

В книге английского автора описаны структура связей в локальных вычислительных сетях (ЛВС), методы передачи сигналов, основные способы доступа к общему каналу связи. Даны примеры реализации наиболее известных ЛВС и областей их применения. Рассмотрены вопросы оценки производительности ЛВС и повышения их надежности.

Для инженерно-технических работников, специализирующихся в области вычислительной техники.

Г $\frac{2405000000-096}{046(01)-86}$ 137-86 ББК 32.97

Редакция переводной литературы

Производственное издание

К. ГИ

ВВЕДЕНИЕ В ЛОКАЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ

Заведующая редакцией *О. В. Толкачева*
Редактор *С. Н. Удалова*
Художественный редактор *Т. В. Бусарова*
Обложка художника *В. П. Назарова*
Технический редактор *Л. А. Горшкова*
Корректор *И. Г. Зыкова*

ИБ № 1272

Сдано в набор 10.10.85 Подписано в печать 30.01.86
Формат 84×108/32 Бумага типографская № 1 Гарнитура литературная
Печать высокая Усл. печ. л. 9,24 Усл. кр.-отт. 9,555 Уч.-изд. л. 10,16
Тираж 15 000 экз. Изд. № 21481 Зак. № 124 Цена 70 к.
Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Почтамт, а/я 693

Московская типография № 5 ВГО «Союзучетиздат»
101000 Москва, ул. Кирова, д. 40

1. ВВЕДЕНИЕ

В книге рассматривается особый класс методов и средств, которые можно использовать для объединения вычислительных машин и связанных с ними устройств. Вычислительные машины могут быть самых разных типов, начиная от микропроцессоров, встроенных, например, в печатающее устройство, до супер-ЭВМ. Совокупность этих методов и средств называется локальными вычислительными сетями (ЛВС). Их отличает от других вычислительных сетей то, что они всегда размещаются на ограниченной территории и обычно имеют соединяющий кабель длиной до нескольких километров. Кроме того, при их построении не используются средства и возможности национальных сетей передачи данных.

Небольшое расстояние, а также отсутствие ограничений, налагаемых организациями, в ведении которых находятся национальные средства электросвязи, дают возможность передавать данные в ЛВС со скоростями, значительно превышающими скорость передачи данных в национальных сетях.

В книге описываются средства обеспечения взаимодействия в локальной среде указанного типа. Хотя наиболее важной областью применения локальных сетей в настоящее время является передача цифровых данных, некоторые методы могут быть распространены на передачу речевой, текстовой и видеоинформации, что, например, позволяет объединить многие формы учрежденческой связи в рамках одной сети.

Локальные сети начали использоваться с середины 70-х годов. В результате падения цен на электронные компоненты и расширения возможностей терминальных устройств, используемых в вычислительных системах, количество различного вычислительного оборудования, установленного в учреждениях, школах, университетах, на заводах и т. п., возросло. Средства вычислительной техники стали более значимы благодаря возможности взаимодействия этих средств друг с другом, доступа к специальным службам и устройствам, одновременного разделения вычислительных ресурсов. Так обладатели относительно дешевых «интеллек-

туальных» устройств, основанных на микропроцессорах, начали поиски таких же дешевых методов их соединения между собой. Это стало возможным с появлением локальных сетей, хотя чаще всего они разрабатывались для других целей. В результате локальные сети с успехом стали применяться для решения этих новых задач.

По размерам и структуре локальные сети занимают промежуточное положение между обычными сетями передачи данных и аппаратурой, применяемой для соединения между собой вычислительных устройств, расположенных в одной комнате. Средства, используемые для локальных сетей, заимствованы от обоих классов систем, но в конечном счете локальные сети отличаются от них. Различные решения, используемые при создании локальных сетей на данном этапе, позволяют выделить их как отдельный класс вычислительных сетей. В противном случае локальные сети могли бы рассматриваться в книге, посвященной широкому кругу вопросов взаимодействия вычислительных машин. В действительности существующие средства и реализации локальных сетей требуют их независимого рассмотрения.

Предполагается, что читатель этой книги имеет основные понятия о методах взаимодействия вычислительных машин хотя детальных знаний в этой области ему и не потребуется. Описание использования обычных вычислительных машин и развития терминалов, рабочих станций и оборудования для учреждений помогут лучше разобраться в принципах построения локальных сетей.

Метод пакетной коммутации является основополагающим для большинства современных локальных сетей, а также для многих общедоступных сетей передачи данных. Подробное обсуждение метода пакетной коммутации выходит за рамки книги, хотя конкретная адаптация данного метода для локальных сетей обсуждается достаточно детально; подобным же образом рассматриваются различные методы доступа и передачи данных. Более широкое применение пакетной коммутации, особенно в общедоступных сетях передачи данных, излагается в соответствующих книгах, на которые при необходимости делаются ссылки в тексте.

Глава 2 посвящена истории развития вычислительных сетей. В последующих главах рассматриваются все аспекты локальных сетей, начиная с изучения возможных топологий (гл. 3), основных методов передачи данных (гл. 4) и большинства требований к аппаратному и программному обеспечению (гл. 5). В гл. 6 рассматриваются отдельные разработанные и всесторонне испытанные сети. В последних двух главах обсуждаются прогнозируемая и реальная

эффективности работы локальных сетей (гл. 7) и основные области их применения (гл. 8).

В книге акцентируется внимание на том, как работают локальные сети. Условия их применения и предъявляемые к ним требования различны. Поэтому конкретные методы и средства, используемые в локальных сетях, вряд ли подойдут пользователям, однако в конкретных применениях они могут оказаться идеальными.

Локальные сети получили быстрое развитие за короткое время. Однако следует иметь в виду, что методы и средства, используемые при их создании, по всей видимости, долго не будут меняться, так как они в течение многих лет исследовались в научных лабораториях. В дальнейшем область применения локальных сетей будет расширяться. Кроме того, получит развитие сервис, который локальные сети предоставляют пользователю. Этот вопрос коротко рассмотрен в конце книги.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛОКАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

2.1. ЧТО ТАКОЕ ЛОКАЛЬНАЯ СЕТЬ?

Локальная сеть отличается от других сетей площадью, на которой она функционирует, скоростью передачи информации, простотой изменения конфигурации и простотой самой среды передачи.

Локальная сеть может работать только на ограниченной территории. Как правило, это территория одного здания или рабочего участка, а ее протяженность — от нескольких сотен метров до километра.

Скорость передачи данных в больших сетях может меняться от нескольких сотен до нескольких тысяч бит в секунду, а локальные сети способны передавать информацию со скоростью в несколько миллионов бит в секунду.

Многие администраторы систем передачи данных мечтают о возможности подключения нового устройства без необходимости всякий раз прокладывать новые кабели и реализовывать новые протоколы и процедуры в главной ЭВМ. На современном этапе остается спорным вопрос: достаточно ли высоким будет уровень «интеллектуальности» локальных сетей, чтобы удовлетворить этим требованиям? Почти все существующие разработки локальных сетей используют очень простой вид соединения, обычно в виде про-

вода, проложенного по зданию, иногда с повторителями через определенные интервалы.

Такая простая структура соединения является очевидной и привлекательной особенностью локальных сетей. Однако для потенциальных покупателей локальных сетей простота связи и процедур подключения — это только полдела. Пользователю более важно иметь эффективный механизм передачи информации, не требующий знания технических деталей интерфейса с сетью.

2.2. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА

Локальная сеть представляет собой систему передачи данных, которая позволяет независимым устройствам взаимодействовать между собой. В этом она ничем не отличается от других сетей передачи данных. Отличительной особенностью локальной сети является ее размещение на ограниченной территории. Это может быть здание учреждения, отдельный этаж учреждения, завод, университетский комплекс и т. д. Число обслуживаемых устройств ограничено, а вся сеть находится под контролем одной организации.

Лучшим описанием локальной сети служит перечисление ее основных особенностей. К ним относятся:

размещение локальной сети целиком на ограниченной территории;

соединение в локальной сети независимых устройств;

обеспечение высокого уровня взаимосвязи устройств сети;

использование локальной сети для передачи информации обычно в цифровой форме;

дешевые средства передачи и интерфейсные устройства;

возможность взаимодействия каждого устройства с любым другим.

Большинство локальных сетей (но не все) передает информацию последовательно по битам, а не параллельными потоками бит. Вышеприведенные особенности относятся не только к сетям, использующим последовательную передачу потоков бит.

Более детально необходимо определить следующие характеристики локальной сети:

размер сети;
используемые устройства;
скорость передачи информации;
топологию сети;
физическую среду, используемую для передачи информации;
используемые протоколы и методы доступа;
наличие или отсутствие управляющего узла.

Рассмотрим некоторые характеристики существующих сетей. Поскольку эта область развивается быстро, ясно, что

эти характеристики могут значительно меняться в зависимости от новых методов передачи данных и приложений локальных сетей.

Уже шла речь об устройствах, которые могут быть объединены с помощью локальных сетей, и о соответствующих расстояниях между ними. Обсудим остальные характеристики локальных сетей.

Скорость передачи. Скорость передачи данных обычно составляет от 1 до 20 Мбит/с. Некоторые системы сейчас работают с меньшими скоростями.

Топология. Существуют две основные топологии: шина и кольцо. Возможно, с разработкой высокоскоростных цифровых коммутаторов, пригодных для смешанной передачи речи и данных, большее значение вскоре приобретут сети со звездообразной топологией.

Передающая среда. Основной передающей средой, используемой в настоящее время, являются коаксиальный кабель и витая пара телефонных проводов. Для широкого использования волоконно-оптических кабелей необходимо решить некоторые практические проблемы.

Метод доступа. Используются два основных метода доступа (сетевых протокола): с состязанием [1] и контролем несущей для использования в сетях с разделяемой шиной и тактируемый доступ с циклической очередностью для сетей с кольцевой структурой. Другие методы находятся на стадии разработки и, несомненно, появятся в будущем. Наиболее перспективным из них является метод передачи маркера (пригодный для шинной, кольцевой и звездообразной топологий), а также метод вставки регистра для кольцевых сетей.

Управляющие узлы сети. В настоящее время лишь в немногих локальных сетях управление сосредоточено в одном узле. Однако с возрастанием значения сетей, основанных на цифровых телефонных коммутаторах, ситуация может измениться: коммутатор будет функционировать как центральная коммутационная станция. Однако такая станция не будет выполнять функции сетевого или связного контроллера обычной вычислительной сети. Коммутаторы, как правило, позволяют использовать сеть без ограничений всем другим ее устройствам. Более совершенный цифровой коммутатор будет работать как устройство маршрутизации и коммутации с дополнительными сервисными возможностями, предоставляемыми всем пользователям.

---

[1] Этот метод часто называется случайным множественным доступом. — *Прим. перев.*

2.3. КРАТКАЯ ПРЕДЫСТОРИЯ

Локальные сети впервые возникли главным образом в университетах и научно-исследовательских институтах. Они являются частью развивающихся сетей передачи данных в целом и используют методы пакетной коммутации.

Методы пакетной коммутации приобрели огромное значение после их реализации в исследовательской сети ARPA (США) и сети Национальной физической лаборатории (Великобритания). Большинство администраций национальных систем связи в настоящий момент планирует или уже внедрило сети, использующие методы пакетной коммутации. Следует ожидать, что идеи пакетной коммутации получат свое воплощение в локальных и частных системах связи.

Как ни странно, методы, которые теперь ассоциируются с локальными сетями, впервые были использованы в широкомасштабной сети, для которой стоимость и трудоемкость прокладывания обычного соединительного кабеля были непомерно высоки. Это была сеть ALOHA, созданная на Гавайских островах для обеспечения простого доступа большого количества пользователей с терминалов к центральным вычислительным средствам. Существенной особенностью сети ALOHA является использование для передачи данных широковещательного радиоканала, так что все пользователи «состязаются» друг с другом за доступ к нему.

Пакеты с данными посылаются терминалами в радиоканал в любой момент в широковещательном режиме и принимаются центральной вычислительной системой. Последняя, используя находящуюся в пакете информацию для выявления ошибок, определяет, произошло ли наложение двух или более пакетов. Такой метод доступа, известный под названием Простая ALOHA (Pure ALOHA) неэффективно использует пропускную способность канала и в лучшем случае приводит к загрузке канала менее чем на 20%.

Исследование причин низкого использования пропускной способности канала привело к разработке метода под названием Тактированная ALOHA (Slotted ALOHA), при котором пакетные терминалы не могут совершенно свободно посылать пакеты. Время поделено на такты и каждому терминалу разрешается начать передачу только в начале временнóго такта. Все терминалы в такой сети синхронизированы с главными часами в центральной вычислительной

системе. При этом пропускная способность канала составляет около 40%.

Вслед за первым опытом с сетью ALOHA другие группы исследователей начали проявлять интерес к различным методам передачи данных в ограниченной географической области. Наиболее заметной среди них была исследовательская лаборатория фирмы Xerox в Пало-Альто (США). Она заимствовала основную идею сети ALOHA, состоящую в разделении использования общей передающей среды, названной Ether. В данном случае Ether является сетью, использующей один коаксиальный кабель. Система, которую они разработали, сейчас широко известна как сеть Ethernet. Эта сеть более детально обсуждается в последующих разделах книги.

Подобно сети ALOHA сеть Ethernet использует разделяемую передающую среду, но реализует другие алгоритмы доступа к передающей среде, обнаружения и предотвращения наложений (конфликтов) пакетов. Считают, что алгоритмы сети Ethernet обеспечивают более высокую степень ее использования. В лабораторных условиях использование пропускной способности сети достигает 90%.

Сеть Ethernet была не единственной, разработанной в исследовательских институтах в начале 70-х годов. Фирма Haslex в Швейцарии и вычислительная лаборатория Кембриджского университета проводили эксперименты с использованием других подходов. В их разработках все пользователи также разделяли одну передающую среду. В отличие от шинной конфигурации сети Ethernet, к которой все имели одинаковое право доступа в любое время, упомянутые системы использовали кольцевой кабель, а пользователи могли начать передачу данных только после получения соответствующего разрешения.

Последние разработки в области локальных сетей базируются на системах с передачей модулированных сигналов. Эти сети используют метод разделения имеющейся полосы пропускания на отдельные каналы, каждый из которых имеет очень высокую скорость передачи информации и не перекрывается другими каналами. Применение данного метода для локальных сетей впервые осуществила фирма Mitre (США).

2.4. РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Локальные сети разрабатывались для удовлетворения определенных требований научно-исследовательских организаций. В течение 70-х годов в вычислительной технике

произошло смещение акцентов от одиночной высокопроизводительной вычислительной машины, доступной всем пользователям, находящимся в непосредственной близости от нее, к распределенной обработке и использованию вычислительных сетей. С появлением у вычислительных систем возможности эффективного обслуживания одновременно нескольких пользователей оказалось, что использование терминалов является более удобным и более эффективным с точки зрения стоимости режимом работы с вычислительными машинами по сравнению с пакетным режимом, использовавшимся ранее. Первые терминалы обладали скудными возможностями по обработке данных и поэтому были тесно связаны либо с самой вычислительной машиной, либо со специализированным терминальным контроллером. В результате первые сети имели форму звезды или представляли собой несколько соединенных звезд.

Создание мощных мини-ЭВМ с многофункциональной операционной системой и с менее жесткими эксплуатационными требованиями дало возможность размещать значительные вычислительные мощности в разных местах организации, а не концентрировать их на одном маленьком участке.

У такого подхода есть ряд преимуществ:

уменьшается количество каналов связи;

может использоваться специализированная вычислительная машина, которая лучше соответствует данному приложению, чем универсальная машина;

ограничивая объем вычислений на одной отдельной машине, можно уменьшить время отклика на терминалах;

управление подключенным к сети оборудованием находится в руках оконечного пользователя.

У распределенной обработки есть недостатки, наиболее важными из которых являются следующие:

могут возникнуть затруднения при управлении всей сетью, а также нет уверенности, что везде в сети используются стандартные методы и оборудование;

трудно разрабатывать и модифицировать программное обеспечение, особенно если используются машины разного типа;

необходимы протоколы высокого и низкого уровней;

пользователям вычислительных машин не обеспечивается немедленный доступ к информации, хранящейся на другой вычислительной машине.

Однако многие проблемы могут быть решены, если соединить отдельные вычислительные машины так, чтобы пользователи одной машины имели возможность работать с другими машинами. Таким образом, дорогостоящие ресурсы, например диски большой емкости или даже специали-

зированные процессоры, могут быть общедоступны всем пользователям сети. Именно с этой целью была разработана локальная сеть Cambridge ring.

Распределенная обработка в такой форме вскоре стала признанной альтернативой централизованной обработке, и производители вычислительных систем, как больших так и мини-ЭВМ, разработали для достижения этих целей сетевые архитектуры. Каждая архитектура была ориентирована на одну серию машин и часто даже на конкретный класс устройств. Сети, включающие вычислительные машины и терминалы различных типов, плохо поддерживаются этими архитектурами. Потребители, напротив, видят преимущество вычислительных сетей в возможности использования вычислительных машин и соответствующих устройств, которые приобретены из разных источников, потому что таким образом они могут приспособить сеть для своих нужд.

Когда локальные сети стали известны, пользователи решили, что эти системы допускают более свободное подключение оборудования. Поскольку локальные сети разрабатываются с использованием стандартного метода передачи, то можно передавать информацию от одного устройства к другому, не беспокоясь о различных интерфейсах, скоростях, с которыми эти устройства могут работать, и т. д. Передаваемая информация представляет собой последовательность двоичных цифр, поэтому необходимы дополнительные уровни протоколов, чтобы эти последовательности стали понятны для прикладных вычислительных процессов.

В последние годы быстрое развитие получили микропроцессоры, а цена на них резко упала. Это привело к тому, что микропроцессоры стали применяться во многих областях, где их использование ранее было неэкономично. Благодаря встроенным микропроцессорам многие терминалы обладают теперь рядом новых возможностей. Микропроцессоры все шире внедряются в учрежденческое оборудование, начиная с довольно обычных пишущих машинок до копировальных устройств и сложных универсальных рабочих станций с возможностями осуществления персональных вычислений и манипулирования информацией. Если соединить друг с другом устройства, построенные на базе микропроцессоров, то можно достигнуть преимуществ, подобных тем, о которых упоминалось ранее в связи с распределенными вычислительными системами. Такая система более предпочтительна по сравнению с отдельными устройствами, особенно в хранении и обработке информации. На рис. 2.1 показана типичная учрежденческая система, в которой

различные универсальные рабочие станции используют один высокоскоростной файловый накопитель и связанные с ним процедуры управления файлами. В сети, кроме того, имеется несколько специальных устройств, которые, вообще говоря, слишком дороги, чтобы закрепляться за отдель-

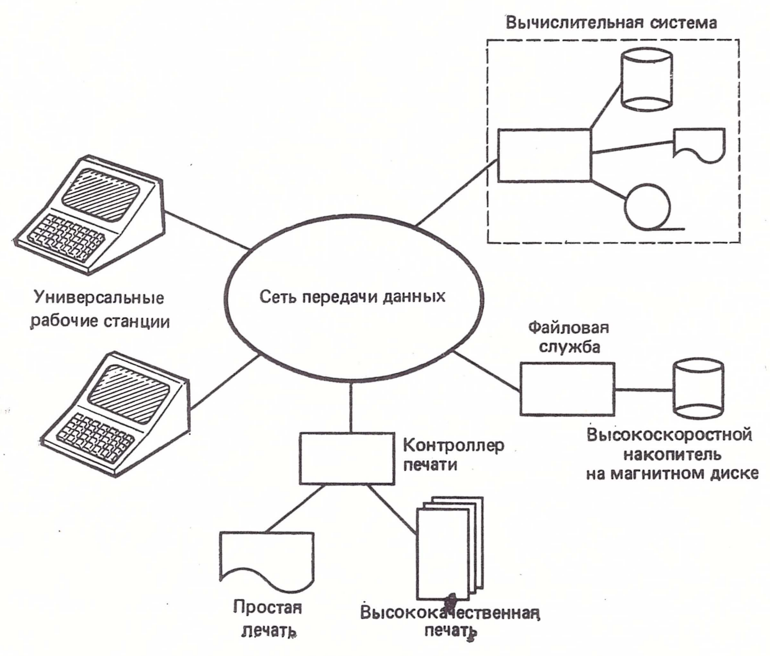


Рис. 2.1. Учрежденческая сеть

ными рабочими станциями. Рабочие станции сами по себе могут быть использованы для обработки текстов, доступа к файлам, электронной почты, персональных вычислений и доступа к другим вычислительным машинам и службам. Файловый процессор может быть также основой электронной почты в сети.

В обычном учреждении так много дешевых рабочих станций, что сеть, построенная по принципу двухточечных линий связи, будет неприемлема. Число необходимых линий слишком велико, и их прокладка не будет экономичной, скорость передачи слишком низка, а стоимость каждого соединения соизмерима или даже превосходит стоимость подсоединяемого устройства. Локальные сети предоставляют почти идеальное решение: они дешевы, легко устанавлива-

ются, обеспечивают широкий охват подключаемого оборудования, возможность расширения и взаимодействие всех соединенных устройств.

В основном по этой причине неожиданно вырос интерес к локальным сетям. Локальные сети мгновенно превратились из систем, разрабатываемых из научных интересов, в системы, пригодные для решения насущной проблемы.

3. ТОПОЛОГИИ СЕТЕЙ

Топология сети определяет размещение узлов и соединений между ними. Узлы могут быть соединены в сеть следующими способами.

Звездообразная (радиальная) *структура.* Организуется центральный узел, к которому или через который посылаются все сообщения (рис. 3.1,*а*).

Кольцевая структура. Все узлы соединяются друг с другом в кольцо, причем ни один из них не может полностью контролировать доступ к сети (рис. 3.1,*б*).

Петлевая структура. Все узлы соединены друг с другом в кольцо, но один из них управляет остальными и определяет, какой из узлов должен использовать канал связи (рис. 3.1,*в*).

Шинная структура. Все узлы имеют одну линию связи, но эта линия не замкнута в петлю. Каждый узел использует шину, чтобы связаться с любым другим узлом (рис. 3.1,*г*).

Древовидная структура. Узлы связаны друг с другом разветвленным каналом связи. В этом случае в сети нет петель (рис. 3.1,*г*).

Смешанная сеть. Если узлы сети соединены более сложным образом, который нельзя классифицировать как один из предыдущих, то сеть можно назвать смешанной. Некоторые линии могут разделяться потоками данных, передаваемых между двумя парами узлов. Например на рис. 3.1,*д* линия X используется для передачи потока данных между узлами A и B и между узлами C и D.

Полносвязная сеть. Если каждый узел сети непосредственно соединен с любым другим узлом каналом (рис. 3.1,*е*), сеть называют полносвязной.

Могут использоваться различные комбинации вышеперечисленных сетей, например несколько звездообразных сетей, объединенных в кольцо. Важность той или иной топологии обусловливается назначением сети.

Локальные сети обычно создаются для разделения общих ресурсов — ресурсов вычислительных устройств, базовой передающей среды, иногда — коммутационного устройства. Из сетевых топологий, перечисленных выше, звездообразная, кольцевая и шинная наиболее часто встречаются в локальных сетях. Они обеспечивают при малых затратах соединение вычислительных машин и связанных с ними устройств, облегчая одновременное подсоединение новых устройств и отключение существующих.

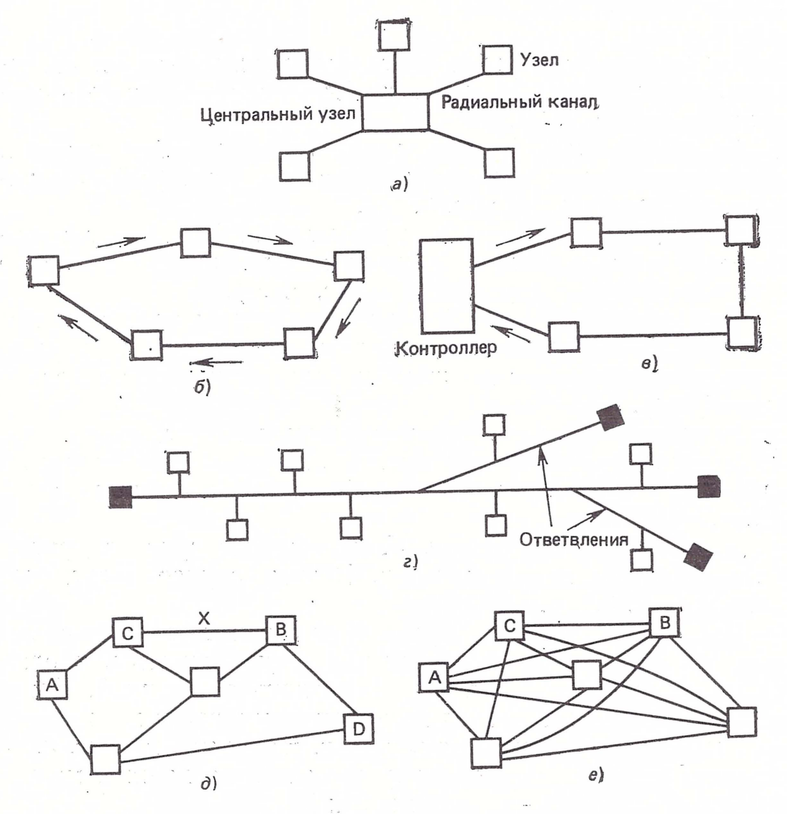


Рис. 3.1. Основные топологии сетей

Узлы в сетях шинной и кольцевой топологии имеют общую передающую среду, соединяющую все узлы. Используется только одна линия, и все сообщения, передаваемые между узлами, должны пройти по ней.

В звездообразной сети проблема решается использованием центрального узла, который или обрабатывает все со-

общения, посылаемые радиально подключенными устройствами, или действует как устройство выбора маршрута передачи из одного радиального канала в другой.

Петлевая конфигурация сети наиболее часто применяется для управления терминалами, работающими с большой вычислительной машиной. В петлевой структуре совместно используются общий контроллер и соединительный кабель.

В других топологиях отсутствует разделение передающей среды связи между всеми пользователями сети, однако часто топологии проектируются для разделения ресурсов вычислительной системы или дорогого периферийного устройства.

Основные топологии локальных сетей будут рассмотрены более подробно. В соответствующих разделах книги приводятся типичные примеры и детали программного и аппаратного обеспечения, необходимого для работы локальных сетей. Описаны преимущества и недостатки каждой сетевой топологии. Смешанные и полносвязные конфигурации в локальных сетях обычно не используются, поэтому они в дальнейшем не обсуждаются.

3.1. ЗВЕЗДООБРАЗНАЯ СЕТЬ

Звездообразная сеть показана на рис. 3.1,*а*. Она хорошо известна и как типичная вычислительная сеть (рис. 3.2), в которой в центре звезды расположена вычислительная машина, обрабатывающая информацию, передаваемую периферийными устройствами, и как телефонная система, в которой центральный узел представляет собой коммутатор, соединяющий различных пользователей сети (рис. 3.3).

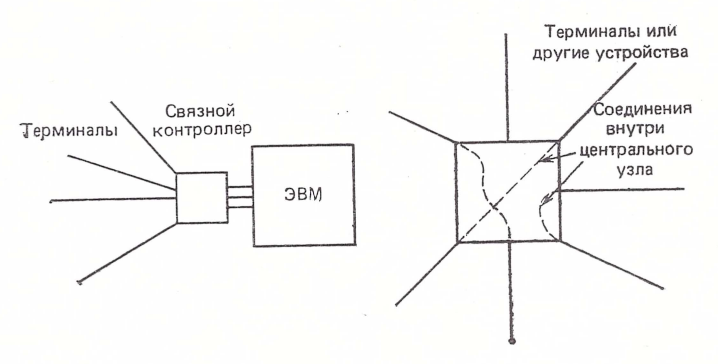


Рис. 3.2. Звездообразная вычислительная сеть

Рис. 3.3. Звездообразная сеть с коммутирующим центральным узлом

Первый пример иллюстрирует применение топологии звезды для коллективного использования одного вычислительного ресурса, а второй — ее применение для попарного соединения устройств. Она менее пригодна в ситуациях, когда несколько радиально подключенных устройств требуют одновременного доступа к устройству на другом радиусе звезды.

Примем широко распространенную точку зрения, что локальные сети служат для того, чтобы обеспечить постоянное взаимодействие только между вычислительными устройствами. Звездообразная сеть являлась доминирующей с тех пор, как большинство существующих вычислительных систем стали иметь средства доступа к одной или более центральным вычислительным машинам в реальном масштабе времени. Однако идея локальных сетей заключается в обеспечении связи между всеми устройствами, включенными в сеть, что не всегда имеет место в традиционных вычислительных сетях. Такие сети обычно управляются устройством в центре звезды, которое само может быть вычислительной машиной или, чаще, контроллером, предназначенным для управления терминалами и периферийными устройствами. Такой контроллер последовательно опрашивает каждое устройство, чтобы определить, имеет ли оно данные для передачи. Радиально подключенные устройства могут начать передачу данных только тогда, когда будет получено разрешение от центрального узла. Если сообщение с данными должно быть передано другому устройству, то вычислительная машина в центре звезды обычно обрабатывает эти данные, а затем передает сообщение, хотя более эффективно было бы скоммутировать линию отправителя с линией получателя, чтобы сообщение проходило через центр без обработки в нем.

Кроме того, типичной звездообразной сетью является внутренняя телефонная сеть, которую имеет большинство учреждений и предприятий. В центре звезды в этом случае находится телефонный коммутатор учреждения, который в настоящее время представляет собой автоматическое устройство (УАТС — учрежденческая автоматическая телефонная станция), которое позволяет всем абонентам непосредственно связываться друг с другом. Помимо этого имеется возможность для выхода пользователя на внешнюю линию связи телефонной сети общего пользования (УАТС является устройством коммутации каналов). На основании номера, полученного от вызывающего абонента, оно соединяет линию этого абонента с линией вызываемого абонента. Образованный канал существует до тех пор, пока раз-

говор не закончится и телефоны не отключатся. После этого УАТС может разъединить данную линию. Если уже существует канал, соединяющий два телефона, то никакие другие абоненты не могут соединиться ни с одним из этих двух телефонов.

Звездообразная сеть типа УАТС, развитая соответствующим образом, является важной топологией ЛВС. Методы вычислительной техники и интегральные коммутаторы, реализованные в УАТС, удовлетворяют требованиям вычислительных сетей. Высокоскоростные коммутаторы позволили значительно увеличить скорость образования и разъединения каналов по сравнению с коммутаторами старых типов, что сделало возможным устанавливать канал, например для передачи лишь строки текста с терминала в вычислительную машину. Установление соединения, передача информации и разъединение занимают лишь доли секунды. Затем линия связи с вычислительной машиной может использоваться другими терминалами.

Хотя коммутация каналов является традиционным методом, используемым в центральном узле сетей типа УАТС, этот узел может функционировать и как коммутатор пакетов.

Полное описание коммутации пакетов выходит за рамки данной книги. Читатели, которые хотят познакомиться с этим методом подробнее, могут воспользоваться одной из специальных книг по данному вопросу [3.1 — 3.3, Д6, Д7]. Здесь будет достаточно дать краткое объяснение преимуществ коммутации пакетов и ее применения в звездообразной сети.

В последние годы коммутация пакетов принята в качестве обычного метода передачи данных в общедоступных сетях передачи данных. Общедоступные сети передачи данных можно сравнить с телефонными сетями общего пользования, так как и те, и другие обслуживают большое число пользователей и эффективно разделяют основные средства между ними. Общедоступные сети передачи данных с коммутацией пакетов (рис. 3.4) используют несколько узлов коммутации, размещенных в различных местах. Абонентские устройства пользователей подсоединяются к ближайшим узлам коммутации. Эти узлы соединены между собой скоростными высоконадежными линиями связи. Сообщения, возникающие у прикладного процесса разбиваются на блоки подходящего размера и упаковываются в пакет, который содержит адреса как отправителя, так и получателя. Пакеты отправляются один за другим в узел коммутации, который посылает их вперемешку с пакетами от других пользо-

вателей в узел коммутации, обслуживающий получающее устройство. По достижении получающего устройства пакеты проверяются на наличие ошибок, появившихся при передаче. На все пакеты, полученные с ошибками, запрашиваются повторные передачи, после чего окончательно восстанавливается сообщение.

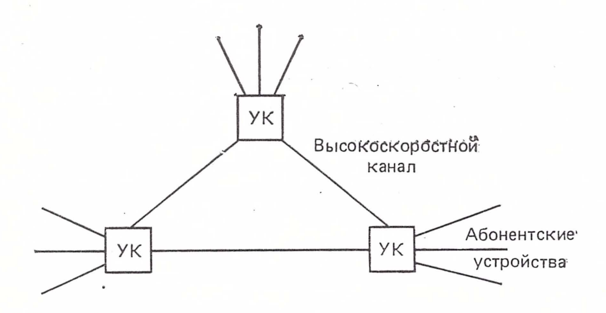


Рис. 3.4. Сеть с коммутацией пакетов (УК — узел коммутации)

Хотя сети с коммутацией пакетов обычно содержат более одного узла коммутации, они могут работать и с одним коммутатором, расположенным в центре звезды. Любое устройство на радиальной линии связи может легко взаимодействовать с несколькими устройствами одновременно. При этом пакеты, передаваемые по этой радиальной линии связи, относятся к различным парам взаимодействующих устройств. Это делает метод коммутации пакетов особенно подходящим для звездообразных сетей, которые имеют одну или более вычислительных машин.

Узел в центре звезды может выполнять функции, отличные от обычной обработки данных и коммутации каналов или пакетов. Например, он может обеспечивать согласование скорости передачи со скоростью приема. Отправляющее и получающее устройства могут работать, используя различные связные протоколы и наборы символов. Центральный узел в этом случае может действовать как преобразователь протоколов, позволяя таким образом работать друг с другом разнотипным терминалам и вычислительным машинам.

Одна из наиболее существенных особенностей звездообразных сетей заключается в том, что бо́льшая часть средств, требующихся для управления сетью, может находиться в одном месте и разделяться между всеми устройствами системы. Поэтому непосредственно в сети допускается использование простейших терминалов, причем каждый

из них может работать с любой скоростью. Для доступа к каналам не требуется специальной логики, так как каждый канал обычно связан с одним устройством. Иногда имеется возможность в качестве каналов для связи между устройствами на концах звезды и центральным узлом использовать различную передающую среду. Например, для одних каналов может использоваться витая пара, а для других — коаксиальный и ленточный кабели или даже волоконно-оптические кабели.

Помимо этого программное обеспечение центрального узла звезды может обеспечивать высокую степень защиты сети от несанкционированного доступа. Если канал или оконечное устройство выходят из строя, то легко определить, какая радиальная связь содержит дефект, сообщить об этом супервизору сети (программе управления) и при необходимости отсоединить эту связь. Адресация также упрощается, так как каждая радиальная связь соответствует конкретному устройству.

Возможности, которые обеспечиваются центральным узлом развитых звездообразных локальных сетей, идеальны для внедрения методов обработки цифровой информации в телефонных коммутаторах. Быстро происходит развитие и усовершенствование традиционных функций УАТС и специальных устройств, иногда называемых ведомственными коммутаторами данных. Последние содержат некоторое вычислительное устройство для управления линиями передачи данных, обеспечивая в то же время функции телефонных коммутаторов обычных УАТС. Преимущества такого подхода очевидны: оборудование передачи данных может использовать телефонные кабели и провода. Затраты на новую УАТС будут в этом случае оправданы возможностью управления телефонной сетью, значительно улучшенным телефонным сервисом. Например, можно обеспечить использование сокращенных кодов номеров наиболее часто вызываемых абонентов, автоматическое ожидание телефонами освобождения занятой линии и затем вызов требуемого номера, автоматический перевод входящих вызовов на альтернативный номер, если вызываемый номер не отвечает.

Следует учитывать, что организация локальной сети с управлением в центральном узле не всегда является лучшим решением. Центральный узел — это довольно дорогое устройство, поскольку даже для управления простой сетью в нем должно быть реализовано много функций. Если соответствующая УАТС уже установлена для телефонного обслуживания, то ее замена на коммутационную станцию,

обеспечивающую передачу и речи, и данных, или установка дополнительного коммутатора только для передачи данных может оказаться слишком дорогостоящей операцией.

Звездообразная сеть чувствительна к отказам центрального узла. Поэтому в большинстве современных УАТС используется дублирование наиболее важных компонентов. Сторонники использования УАТС указывают на высокую надежность, которая достигнута в обычных УАТС. При их замене на УАТС с ЭВМ последние должны быть не менее надежны. Даже маловероятный отказ УАТС может отпугнуть многих пользователей, которым необходима высоконадежная сеть передачи данных.

Хотя кабельная разводка, которая требуется в звездообразной сети, реальна, она является трудной и дорогостоящей операцией, если необходимо объединить большое число устройств. Эта проблема решается легче, если существующие телефонные кабели могут одновременно использоваться как для управления цифровыми устройствами, так и для телефонных переговоров. Для каждого вновь подключаемого устройства необходима прокладка отдельной линии к центральному узлу.

Звездообразные сети обладают следующими преимуществами:

идеальна для ситуаций, когда требуется доступ многих абонеттов к одному обслуживающему центру;

пригодна для подключения простейших терминалов;

на разных радиальных направлениях могут использоваться различные каналы и скорости передачи;

каждое радиальное направление независимо от остальных;

обеспечивает высокий уровень защиты доступа к данным;

упрощены процессы обнаружения и устранения неисправностей;

адресация проста и контролируется центром;

экономически оправдана стоимость передачи речи;

допускает интеграцию передачи данных и речи (интеграция обработки учрежденческой информации).

Однако звездообразные сети имеют следующие недостатки:

зависима от надежности центрального узла;

сложная технология, требующаяся в центральном узле, — отсюда высокая стоимость;

в центральном узле для управления линиями требуются порты (логические точки ввода-вывода) — либо для каждой радиальной линии, либо разделяемые несколькими линиями;

перекладка кабелей удорожает развитие сети;

интенсивность потоков данных обычно меньше, чем в кольцевой или шинной топологии, так как требуется их обработка в центральном узле.

Заканчивая описание звездообразной локальной сети, стоит отметить некоторые другие возможности использования центрального узла.

На рис. 3.5 представлено так называемое звездообразное кольцо. Здесь соединения между устройствами в каж-

дый момент образуют кольцо, особенности которого обсуждаются в следующем разделе. Кольцо в некоторых местах проходит через центральное устройство, которое может быть как «неинтеллектуальным», так и «интеллектуальным». «Неинтеллектуальное» устройство обеспечивает

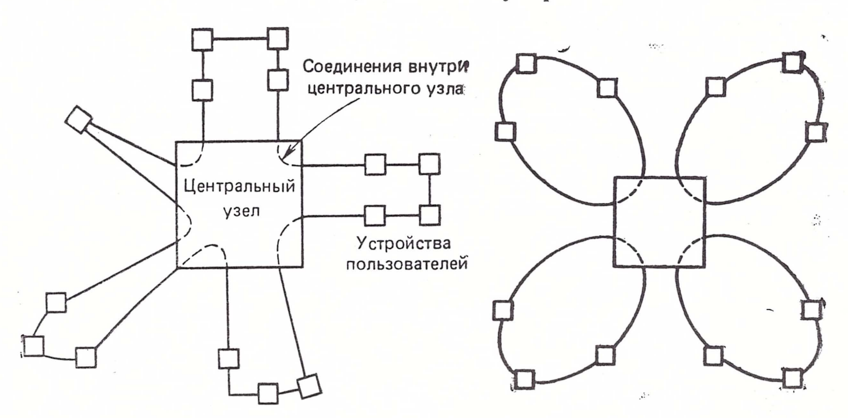


Рис. 3.5. Звездообразное кольцо

Рис. 3.6. Кольца, соединенные с центральным узлом подобно звезде

только обнаружение и изоляцию поврежденных частей кольца, при этом могут использоваться даже ручные средства. С ростом «интеллекта» центральное устройство может функционировать как мониторная станция кольца. «Интеллектуальное» центральное устройство с дополнительным аппаратным и программным обеспечением может постоянно контролировать каждый из участков кольца и автоматически отключать те из них, которые вышли из строя. Помимо этого легко могут меняться конфигурация кольца и порядок, в котором данные передаются от одного устройства к другому. Последняя особенность позволяет добавлять в кольцо новые устройства, не затрагивая никаких пользователей, кроме тех, которые расположены на участке кольца, где включается новое устройство.

Дальнейшее развитие этой идеи приводит к такой структуре сети, в которой независимые кольца имеют общий центральный узел (рис. 3.6). Отдельные кольца могут работать с различными скоростями, причем центральный узел выполняет необходимые преобразования, если устройство одного кольца посылает информацию устройству другого кольца. Подробнее такие экзотические звездообразные кольца описаны в работе [3.4].

В кольцевой сети каждый узел подсоединен к двум и только к двум другим узлам. Она отличается от петлевой сети тем, что не имеет выделенного узла, контролирующего остальные узлы и решающего, когда они могут посылать и принимать сообщения. Обычно сам кольцевой канал непосредственно не соединяет оконечные устройства. Причины этого будут разъяснены позже. Кольцо состоит из нескольких повторителей или приемопередатчиков, соединенных физической средой передачи данных, как показано на рис. 3.7. Устройства оконечного пользователя подсоединяются к повторителям.

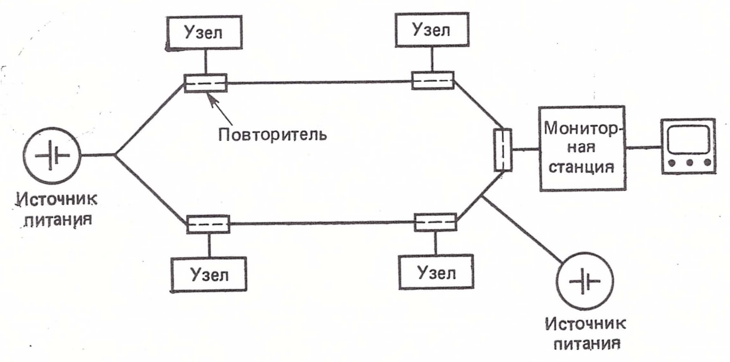


Рис. 3.7. Кольцевая сеть

Идея использования кольцевой топологии в локальных сетях связана с желанием уменьшить зависимость сети от центрального узла звезды, обеспечивая в то же время высокоскоростную передачу данных между всеми устройствами сети.

Вместо концентрации всего управления сетью в одном очень сложном и дорогом коммутационном узле, каждый узел сети объединен с повторителем, который реализуется достаточно просто, поскольку его логика должна обеспечивать лишь возможность получения и передачи данных и доступ к каналу соответствующего узла (рис. 3.8). Сообщения или блоки информации, передаваемые по кольцу, постоянно регенерируются, проходя через каждый повторитель. Они циркулируют до тех пор, пока не будут удалены или приняты каким-либо узлом. Обычно отправитель информации отвечает за ее удаление из сети.

Есть много способов управления кольцом, но на верхнем уровне управления для оконечных пользователей они

мало отличаются друг от друга. Различные методы доступа и управления в кольцевых сетях подробно обсуждаются в гл. 5. Пока отметим лишь общие особенности этих методов и то, что отличает их от методов, используемых в других сетях.

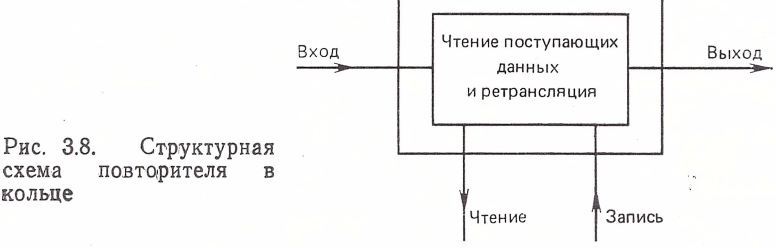


Рис. 3.8. Структурная схема повторителя в кольце

В кольцевых сетях передача информации почти всегда происходит только в одном направлении. Это не является абсолютной необходимостью, но на практике значительно облегчает проектирование повторителей и требует значительно менее сложных протоколов передачи данных, гарантирующих, что информация достигает своего получателя без ошибок и в соответствующей последовательности. Сами повторители обычно делаются так, что они могут передавать и принимать данные одновременно, устраняя тем самым задержки передачи и гарантируя возможность работы в дуплексном режиме.

В отличие от некоторых других топологий локальных сетей, маршрутизация между узлами в кольце тривиальна, так как обычно имеются только один путь в повторитель и один путь из него. Все сообщения должны проходить по этому пути. И сообщения, и разрешение на использование кольца последовательно проходят от одного узла к другому. Это происходит независимо от имеющейся ширины полосы пропускания канала. При этом гарантируется справедливое разделение пропускной способности сети между всеми узлами.

Широковещательная передача сообщений во все узлы кольца является простой процедурой, так как каждый узел может принимать каждое сообщение, переданное по кольцу. Используя специальный адрес, можно легко идентифицировать широковещательные сообщения. Однако, если не все узлы посылают подтверждения, то отправитель не может узнать, какие узлы действительно получили сообщение.

Стоимость монтажа кольца — одна из самых низких для локальных сетей. Часто используется обычный телефонный двухпроводный кабель — витая пара. Повторители могут быть выполнены относительно просто. Одним из наиболее известных примеров кольцевой локальной сети является сеть Cambridge ring, спроектированная и установленная в вычислительной лаборатории Кембриджского университета. В этом кольце используются две витые пары и простые повторители.

Применение двух витых пар позволяет использовать простой метод передачи сигналов и подвести питание к повторителям. Повторители в сети Cambridge ring должны отстоять друг от друга не более чем на 100 м для того, чтобы уменьшить сложности фазирования из-за различий между витыми парами по длине и другим параметрам. Тщательный отбор и согласование кабелей позволяют увеличивать расстояния в сети.

Поскольку данные по кольцу обычно передаются только в одном направлении, то кольцевые сети идеальны для применения волоконно-оптических кабелей. Однако их стоимость значительно выше, чем стоимость обычных проводов. Для использования вышеупомянутых кабелей требуются оптико-электрические и электро-оптические преобразователи, оптические усилители и т. д. Это значительно увеличивает сложность и уменьшает общую надежность сети. Для питания повторителей необходимы отдельные электрические кабели, так как волоконно-оптические кабели не передают электрическую энергию. Кроме того, врезка в кабеле для подключения нового узла сложнее, чем в электрическом. Волоконно-оптические кабели полезно использовать тогда, когда окружающая среда имеет сильные электрические помехи, поскольку такие кабели не подвержены электромагнитным воздействиям. Сеть Cambridge ring в Кембридже включает участок с волоконно-оптическим кабелем. Это иллюстрирует тот факт, что передающая среда кольца может быть выполнена из различных материалов.

Обычно высказываются сомнения относительно надежности кольцевой сети. Функционирование сети зависит от работы каждой отдельной линии и каждого повторителя. С целью увеличения надежности кольцевой сети для секций каналов и повторителей, которые вышли из строя, используются обходные пути. Один из таких способов показан на рис. 3.9. Здесь каждый повторитель может быть обойден с помощью канала, который соединяет повторители, расположенные по обе стороны от него. Если отказывает повторитель С или один из каналов (В—С или С—D) оказывается

разорванным, то вручную или автоматически подключается обходной канал. Этот способ имеет ограничения. Если неисправны два или более смежных участка кольца, то необходимо использовать более длинный обходной канал. Длина обходной секции кабеля не может превышать максимально допустимого расстояния между повторителями.

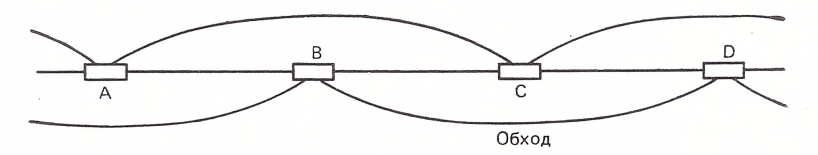


Рис. 3.9. Организация обходов отказавших каналов и повторителей

На практике узел-монитор является важным элементом в большинстве типов кольцевых сетей, хотя с конструктивной точки зрения он не всегда необходим. Монитор обычно служит для удаления искаженных пакетов, которые отправитель не может распознать, или для удаления пакетов, посланных узлом, прекратившим затем функционирование. Помимо этого монитор запускает кольцо в работу, посылает тестирующие пакеты и обрабатывает пакеты с ошибками. Некоторые способы организации кольцевых сетей требуют специального управления, которое наилучшим образом может быть выполнено монитором.

Если в существующее кольцо добавляются новые узлы, его функционирование временно прекращается. Это время может быть минимизировано установлением в кольце специальных разъемов, обеспечивающих быстрое повторное включение повторителей. Такое подключение вносит слабую помеху в передачу данных, а процедуры обработки ошибок позволяют продолжить функционирование кольца, и пользователи не замечают прерывания. Если разъемов нет, кольцо должно быть разорвано, так как в него невозможно вставить пассивную врезку.

Удлинять кольцо, как правило, трудно, хотя применяемые методы передачи не ограничивают максимально допустимую длину кольца. Проблемы возникают при добавлении новой секции кабеля с одновременным сохранением кольцевой топологии сети. Поэтому предприятия и учреждения, использующие локальные сети кольцевой топологии, обычно с самого начала стараются охватить кабельной сетью всех потенциальных пользователей. Все сложности трассировки кабелей и установки кольца полностью компенсиуются простотой повторителей и приемопередатчиков.

Кольцевые сети обладают следующими преимуществами:

пропускная способность разделяется между всеми пользователями;

отсутствует зависимость от центрального устройства;

неисправные каналы и узлы могут быть легко идентифицированы;

маршрутизация чрезвычайно проста;

просто осуществляется контроль ошибок при передаче;

легко организуется автоматическое подтверждение приема;

просто осуществляется широковещательная передача всем узлам;

доступ к кольцу гарантирован, даже когда сеть сильно загружена;

вероятность ошибки очень мала;

возможна очень высокая скорость передачи;

можно использовать смешанную передающую среду.

Однако кольцевые сети имеют следующие недостатки:

надежность сети зависит от всех кабелей и повторителей;

обычно на практике требуется мониторное устройство;

трудно добавлять новые узлы без прерывания функционирования кольца;

повторители вносят некоторую задержку сигнала;

повторители обычно должны быть достаточно близко расположены;

трассировка кабеля может быть сложной.

Напомним, что смысл кольцевой топологии первоначально заключался в обеспечении дешевых и легких для управления средств соединения как «интеллектуальных», так и простейших устройств, расположенных в пределах одной организации. Любое устройство должно получить справедливую долю доступной пропускной способности. Скорость передачи данных должна быть ближе к скоростям, с которыми работают ЭВМ, чем к скоростям, характерным для обычных сетей связи. Большинство разработанных кольцевых топологий достигает этих целей при умеренной стоимости.

3.3. ПЕТЛЕВАЯ СЕТЬ

Петлевая сеть по форме очень похожа на кольцевую. Эти сети различаются методами разделения передающей среды. Петлевая сеть показана на рис. 3.10. Один из узлов полностью определяет, какой узел может использовать сеть и для каких целей. Это достигается циклическим опросом каждого узла или, например, посылкой пустых пакетов-контейнеров, которые доступны любому устройству сети. Петлевые сети наилучшим образом подходят для управления низкоскоростными устройствами, такими как терминалы. Контроллер петлевой сети отвечает за работу нескольких терминалов, которые подсоединяются к удаленной вычислительной системе. Контроллер может быть частью другой сети, возможно звезды с главной вычислительной системой

в центре и контроллерами петель на концах радиальных связей.

Поскольку управление в петлевой сети сконцентрировано в одном месте, то легко устанавливаются и анализируются относительные приоритеты устройств. Повторители используются редко, так как доступ к передающей среде контролируется централизованно. Петлевые сети обычно бывают короткими, а скорости передачи — низкими.

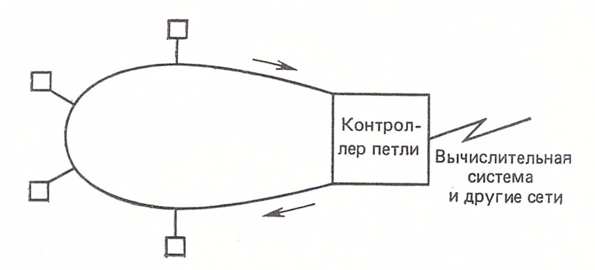


Рис. 3.10. Петлевая сеть

Поскольку передающая среда разделяется всеми устройствами, петлевая сеть может рассматриваться как локальная. Петлевые структуры использовались задолго до того, как локальные сети получили широкое распространение. Они возникли в системах, в которых терминальным устройствам требовался доступ в реальном времени к большой ЭВМ или мини-ЭВМ, и являются развитием принципа многоточечной линии с опросом. По этой причине, а также из-за того, что доступом в сеть управляет контроллер, скорость передачи в петлевой сети обычно значительно ниже, чем скорость передачи в большинстве локальных сетей других топологий. Петлевые сети обслуживают низкоскоростные терминалы и очень редко используются для связи нескольких интеллектуальных устройств, требующих высокой скорости передачи данных. Для этого лучше подходят кольцевые или шинные сети. Убедительное объяснение того, почему в петлевых сетях не должны использоваться высокоскоростные линии, отсутствует. К петле можно будет подключать много устройств, если будут придуманы методы разделения пропускной способности без значительных потерь времени на опрос всех устройств, бо́льшая часть которых в течение длительного времени не имеет данных для передачи.

Петлевые сети обладают следующими преимуществами:

удобны для связи устройств с малыми вычислительными возможностями;

имеют низкую стоимость установки кабеля;

используются известные процедуры управления терминалами, связанными с главной ЭВМ;

легко подключаются новые устройства.

Однако петлевые сети имеют следующие недостатки:

функционирование сети зависит от контроллера;

передача данных осуществляется на низких скоростях;

обычно осуществляются взаимодействия типа «устройство-контроллер», а не непосредственно «устройство-устройство».

3.4. ШИННАЯ СЕТЬ

Основной вид шины для передачи данных, или магистрали, показан на рис. 3.11. Она представляет собой сегмент кабеля, не замкнутый в кольцо. Устройства подключены к

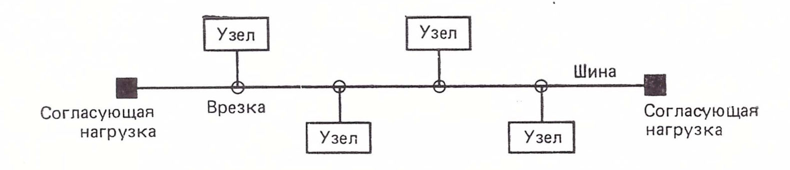


Рис. 3.11. Шинная, или магистральная сеть

шине с некоторыми интервалами. Хотя термин «узел» может показаться неподходящим для шины, так как подключаемые устройства необязательно располагаются в точках стыка с кабелем, однако он может использоваться для обозначения тех мест, в которых осуществляется врезка в кабель и где одно или более устройств подключены к кабелю через необходимый интерфейс. «Станция» — более подходящей термин, и в этом разделе термины станция и узел будут использоваться как синонимы.

Информация передается в шину через узлы и распространяется во все стороны от них со скоростью около трех четвертых скорости света. Все узлы, подключенные к шине, могут «слышать» каждую передачу. В этом смысле шина похожа на обычный радиоканал, когда один или несколько передатчиков имеют доступ в эфир через свои антенны. Их передача может быть услышана любым настроенным на них приемником.

Другой способ разделения шины знаком всем пользователям домашних радио- и телеприемников. Здесь в эфире несколько передатчиков используют различные частотные диапазоны, так что они могут быть легко распознаны приемниками, настроенными на соответствующую частоту. Если эти частотные диапазоны (каналы) не очень близки,

взаимные помехи между ними отсутствуют или малы. В шинных сетях, использующих для связи кабель вместо радиоэфира и указанный способ частотного уплотнения, передача данных осуществляется модулированными сигналами.

3.4.1. ШИННАЯ СЕТЬ С ПЕРЕДАЧЕЙ НЕМОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

В такой сети сигнал не модулируется и, таким образом, цифровая информация передается сериями импульсов, которые представляют собой нули и единицы. Данный способ объясняется в гл. 4. В сети не происходит частотное уплотнение, а вместо этого некоторым образом временно́й интервал разделяется, между всеми пользователями. В каждый момент только один узел может вести передачу. Если два или более узла пытаются сделать это, то информация каждого из них искажается и должна быть передана снова. Поэтому применяется метод временно́го уплотнения, но ответственность за выделение временны́х интервалов (тактов) обычно распределена между всеми узлами сети. То, каким образом выделяются такты, составляет суть различных методов, используемых для передачи в шинной сети немодулированных сигналов.

Собственно среда шинной сети сама по себе полностью пассивна и в ней нет активных компонентов, таких как преобразователи, повторители, усилители или модуляторы. Среда, если это кабель, обычно имеет на обоих концах электрические сопротивления, предотвращающие паразитные отражения, которые создают помехи для передачи.

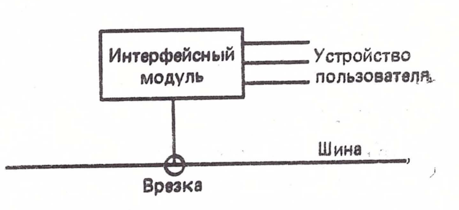


Рис. 3.12. Подключение к шине

Для сетей больших размеров и в тех случаях, когда отдельные сети должны быть соединены друг с другом, может потребоваться некоторое количество специальных усилителей и повторителей. Однако это особый случай, требующий специального рассмотрения в зависимости от способа передачи и используемого метода доступа.

На рис. 3.12 показан типичный метод подключения к шине, по которой передаются немодулированные сигналы. Врезка кабеля обеспечивает электрическое или электромагнитное подсоединение к передающей среде. Она является

эквивалентом антенны радиоканала. Передающей средой для таких систем обычно служит коаксиальный кабель и поэтому врезку можно сделать, не разрывая его. Это важно, так как разрывы значительно изменяют электрические характеристики сети, в которой передаются миллионы бит в секунду. Интерфейсный модуль, показанный на рис. 3.12, выполняет преобразование потока данных, поступающих от подключенного устройства, в форму, пригодную для передачи по сети. Он помещает эти данные в пакет нужного формата, снабжая его соответствующими адресами отправителя и получателя, информацией для контроля ошибок и другой управляющей информацией. Затем в положенное время он направляет пакет в передающую среду и осуществляет его повторную передачу, если возник конфликт (столкновение) с другим пакетом и если этого требует используемый метод доступа. Интерфейсы обсуждаются более детально в гл. 5.

Важно отметить то, что все аппаратное и программное обеспечение доступа и интерфейсов является внешним по отношению к передающей среде, поэтому узлы могут подключаться к сети практически где угодно. Врезки кабеля делаются так, что при подключении они вносят минимум электрических помех для других устройств. На практике каждая врезка все-таки немного изменяет характеристики сети. Поэтому имеются ограничения на допустимое число врезок и на то, где они могут быть сделаны.

Все устройства шинной сети с передачей немодулированных сигналов «слышат» передачи в сети. Интерфейсный модуль выделяет передачи, адресованные обслуживаемому им устройству, и игнорирует остальные передачи. Широковещательные сообщения могут быть переданы всем узлам. Для этого в поле управляющей информации пакета помещается специальный адрес или флаг, который распознается каждым узлом.

Контроль доступа к шине осуществляется централизованно с помощью опроса или коммутации, однако в большинстве случаев он является распределенным. В сети ALOHA Гавайского университета все сообщения в действительности передавались по широковещательному каналу, а центр в Гонолулу имел коммутатор сообщений, поэтому ни одно устройство не посылало сообщений непосредственно другому устройству, а всегда использовало центральный узел.

Несмотря на все проблемы, шинная сеть с передачей немодулированных сигналов весьма привлекательна.

Она обладает следующими преимуществами:

среда полностью пассивна;

легко подключаются новые устройства;

может быть достигнуто эффективное использование пропускной способности;

все компоненты легко доступны;

монтаж сети прост — нет сложных проблем маршрутизации;

сеть приспособлена для передачи трафика с резкими колебаниями;

несколько низкоскоростных устройств могут быть подключены через один интерфейсный модуль.

Однако шинная сеть имеет следующие недостатки:

каждый, имеющий соответствующее оборудование, может прослушивать передачи, не будучи обнаруженным и не нарушая номального функционирования сети;

для связи со средой требуется «интеллектуальное» устройство;

обычные терминалы могут быть подключены только через сложные интерфейсные модули;

иногда происходит интерференция сообщений, передаваемых в шине;

нет автоматического подтверждения приема;

в сети отсутствует справедливый контроль распределения ресурсов, поскольку узлы могут использовать передающую среду всегда, когда она свободна;

общая длина шинной сети ограничена, обычно примерно 1 или 2 км, но на самом деле она зависит от многих факторов.

3.4.2. ШИННАЯ СЕТЬ С ПЕРЕДАЧЕЙ МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

Как объяснялось ранее, такая шинная сеть очень похожа на радиоканал, в котором для различных служб выделены различные частоты. В шинной сети эфир заменяется кабелем (почти всегда коаксиальным), по которому осуществляется передача данных на радиочастоте, при соответствующем модулировании несущих частот. Передатчики и приемники, используемые для обычной радиопередачи, в такой сети заменяются радиочастотными модемами.

Методы использования шинной сети с передачей модулированных сигналов разъясняются в гл. 4.

Такой метод передачи уже многие годы используется в кабельном телевидении, которое в США называется CATV (Community Antenna TeleVision). При этом для работы одновременно нескольких телевизионных каналов используется один коаксиальный кабель. Кабельная сеть может охватывать большое пространство, так как используемый радиосигнал легко усиливается, если его уровень становится слишком низким. Кабель не обязательно должен быть магистральным. Он может ветвиться насколько это необходимо, не образуя при этом замкнутых петель. В системе CATV каждому каналу выделяется определенный частот-

ный диапазон (для передачи цветного телевизионного изображения в реальном масштабе времени требуется диапазон 6 . . . 8 МГц).

При использовании шинной сети с передачей модулированных сигналов охватывается очень большая территория, соответствующее оборудование чрезвычайно просто и надежно, и ширина полосы пропускания кабеля может быть разделена для передачи данных, изображения, речи и т. д.

Такие сети обладают следующими преимуществами:

кабель и интерфейсные устройства легко приобрести;

может быть охвачена большая территория;

сеть можно легко развивать, добавляя новые ответвления и новые устройства;

сеть приспособлена для продолжительной передачи данных с высокой скоростью;

возможна совместная передача изображения, данных, голоса и т д. — все в одном кабеле;

установка и трассировка кабеля осуществляются просто;

ретранслятор на конце шины может быть «интеллектуальным» устройством.

Однако у них имеются следующие недостатки:

модемы являются дорогим оборудованием;

большинство практических применений требует постоянно функционирующего ретранслятора на конце шины;

линейные усилители или повторители должны надежно снабжаться электрической энергией.

3.5. ДРЕВОВИДНАЯ СЕТЬ

Древовидная топология представляет собой несколько шин, соединенных друг с другом. Обычно имеется основная магистральная шина, к которой подсоединяется не-

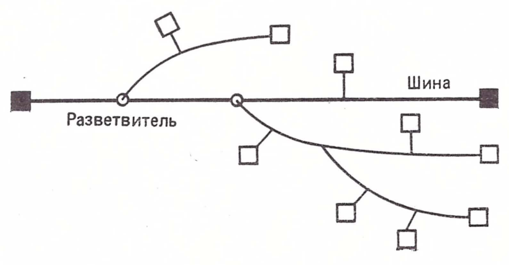


Рис. 3.13. Древовидная сеть

сколько меньших боковых шин, как показано на рис. 3.13. Магистральная шина снабжена соответствующими разветвителями, а узлы и оконечные устройства подключаются к

сети теми же способами, которые применяются в обычных шинных сетях.

В описанном виде, являющемся основным, древовидная сеть наиболее подходит для передачи модулированных сигналов. Выделяются два частотных канала — один для передачи, а другой — для приема. Кабельные разветвители и

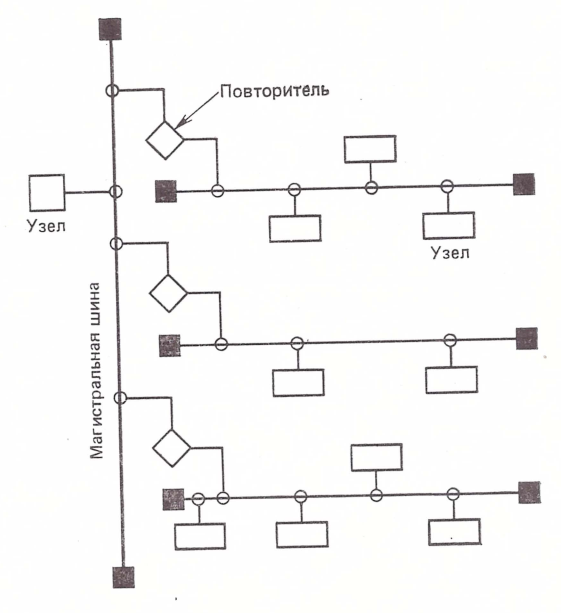


Рис. 3.14. Практическая реализация древовидной шины с передачей немодулированных сигналов (Ethernet)

усилители сигналов легко подключаются к шине, хотя имеются некоторые проблемы, обусловленные отражениями сигналов и потерей энергии из-за дополнительных устройств.

Шинами, в которых передаются немодулированные сигналы, значительно труднее управлять, поскольку дополнительные устройства, даже такие простые, как кабельные соединители, врезаются непосредственно в кабель. Разветвление шины означает, что сигнал будет распространяться в двух различных кабелях. И если кабельные ответвления подобраны не тщательно, то сигналы будут проходить в них с различными скоростями и отражаться различным образом. Древовидная сеть с передачей немодулированных сигналов обычно работает со значительно более низкой скоростью, чем сеть, имеющая единственную шину. Помимо

этого в ней используется другой тип кабеля. В сети с одной шиной применяется коаксиальный кабель с согласующими сопротивлениями на концах. В сетях с древовидной топологией часто используется многожильный кабель, в котором одна жила предназначена для контроля занятости сети каким-либо узлом. Другие жилы используются отдельно для передачи информационных сигналов и синхросигналов.

При другом способе, принятом в шинах с передачей немодулированных сигналов, возможно включение в сеть между любыми двумя узлами ограниченного числа повторителей. Этот способ, применяемый в сети Ethernet, наиболее удачной сети с передачей немодулированных сигналов, показан на рис. 3.14. Одна шина выполнена в качестве магистральной. Устройства могут быть подключены к ней обычным путем. Помимо этого сигналы передаются в боковые шины через повторители. Однако дополнительное подключение к повторителям в боковых шинах не допускается. Таким образом, максимальное число повторителей, через которые должен пройти сигнал между любыми двумя узлами, равно двум. Магистральная шина обычно проходит через шахту лифта или специальную трубу, доступную со всех этажей здания учреждения. На каждом этаже располагается своя собственная шина, которая через повторитель подключается к магистральной шине.

Древовидная топология имеет те же преимущества и недостатки, что и обычная шинная топология.

3.6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Локальные сети реализованные в виде звезд, колец, шин или деревьев, позволяют достичь наилучшего компромисса между их стоимостью, гибкостью и эффективностью. В этом смысле полносвязные и смешанные сети требуют очень большой работы по прокладке кабелей и слишком сложны в управлении. Существуют ситуации, когда конкретное применение требует создания высокоорганизованной и гибкой сети. Однако рассмотрение этих случаев выходит за рамки данной книги.

Для того чтобы функционирование сети удовлетворяло оконечного пользователя, недостаточно просто проложить кабели и подсоединить к ним устройства пользователей.

В следующей главе обсуждаются наиболее широко используемые методы передачи и их применения в локальных сетях.

4. СПОСОБЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Широкое использование средств связи совместно с вычислительными машинами — явление сравнительно недавнее. Традиционно данные, обрабатываемые на ЭВМ, переводились в форму, которая была для ЭВМ читаема и понятна. Для этого применялись перфокарты или перфолента, а иногда — магнитные ленты и диски. Выходные данные также получали в виде печатных документов, перфокарт или перфолент, и на магнитных носителях. Наиболее распространенной формой была «распечатка» выходных документов. Информация считывалась с выходных документов и часто копировалась в виде отперфорированных инструкций, которые можно было бы затем ввести при обработке какой-то другой программы. Задания собирались в пакеты и вводились в ЭВМ. При подобной системе цикл обработки информации был замедлен, особенно когда терялась карта или нарушался порядок карт в пакете. Это означало порчу задания в целом и необходимость составить его повторно.

Единственными линиями связи для передачи данных, применявшимися в ранних вычислительных системах, были линии связи между отдельными частями самой этой системы (например, между центральным процессором и контроллерами устройств ввода-вывода). Расстояния были короткими, и требовалась высокая скорость передачи данных. Приходилось применять особые способы организации такого обмена, которые оказались неприемлемы для обычных средств связи.

Некоторое время назад пользователи и проектировщики стали располагать устройства ввода и вывода на значительном удалении от ЭВМ. Стандартные средства связи оказались совершенно непригодными для нужд вычислительных систем, так как они были спроектированы в расчете на низкокачественную передачу речи в аналоговой форме. Современные вычислительные машины являются цифровыми, поэтому основные проблемы связаны с преобразованием высокоскоростных потоков цифровых данных в форму, удобную для передачи по каналам, рассчитанным на аналоговые сигналы.

В этой главе исследуются основные проблемы передачи данных на большие расстояния. Методы передачи данных на короткие расстояния внутри самих вычислительных систем в данной книге не рассматриваются, хотя некоторые идеи из этой области были заимствованы разработчиками

локальных сетей. Глава заканчивается кратким рассмотрением физической среды передачи, которая используется для локальных сетей.

4.1. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ

Передача данных — вопрос весьма обширный, а локальные сети — всего лишь один небольшой его аспект. В этом разделе основные принципы передачи изложены кратко, но по данному предмету есть хорошие вводные курсы [4.1, 4.2]. Подробное описание средств передачи данных, включающее использование телефонной сети, можно найти в [4.3]. Настоящий раздел, как и следующий за ним, посвящен тем аспектам передачи данных, которые имеют непосредственное отношение к локальным сетям.

Для организации передачи данных требуется не только подключение ЭВМ или терминалов к противоположным концам телефонной или проводной линии. Для понимания проблемы необходимо рассмотреть характеристики обычных средств связи.

Телефонная сеть образует основу многих систем связи и сетей вычислительных машин по той простой причине, что такие сети уже существовали и были доступны в то время, когда начались первые опыты с передачей данных. Телексные сети кажутся более пригодными для этих целей, однако характерная для них скорость передачи данных делает их непригодными для большинства приложений. Телефонные сети были построены для удовлетворения требований, совершенно отличных от тех, которые предъявляются вычислительной техникой. Самое очевидное различие — это различие между формой телефонного сигнала и сигнала, вырабатываемого ЭВМ. Акустический сигнал обладает аналоговой формой и передается по электрическим каналам с использованием переменного напряжения (рис. 4.1). Из-за

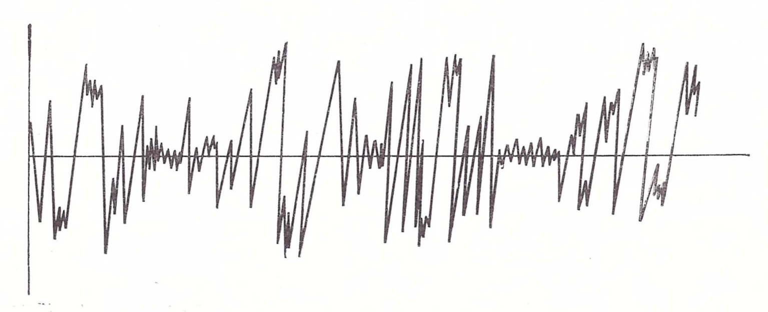


Рис. 4.1. Речевой сигнал

различных причин передача может осуществляться лишь в ограниченной полосе частот. Частотный диапазон для национальной телефонной сети связи составляет 300 ... ... 3400 Гц. Полоса пропускания обычного канала равна разности между верхней и нижней частотами — в данном случае 3100 Гц. Хотя эта полоса может показаться очень узкой по сравнению со спектром различимых человеком звуков (200 ... 20 000 Гц), однако бо́льшая часть информационного содержания звуков речи приходится на полосу 300 ... 3400 Гц. Переданная телефонной сетью речь, как правило, понятна и даже удается узнать говорящего.

Любая среда передачи обладает ограниченной полосой пропускания, но эту полосу ограничивает не только сама среда, но и те устройства, что подсоединены к ней. Ограниченность полосы пропускания, как это станет ясно позднее, имеет немаловажное влияние на передачу цифровых данных по линиям связи.

Прямоугольные периодические импульсы (рис. 4.2,*а*) могут быть получены сложением бесконечного числа синусоид, которые получаются из синусоидального колебания

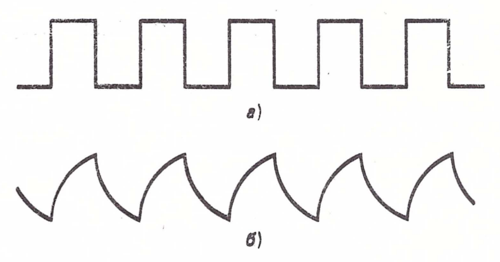


Рис. 4.2. Влияние ограниченной полосы пропускания на передачу прямоугольных колебаний:
а — входной сигнал;
б — выходной сигнал

основной частоты (скажем, n Гц) и нечетных гармоник $3n$, $5n$, $7n$, ... , причем амплитуды этих гармоник уменьшаются. Передача подобного колебания через среду с ограниченной полосой пропускания приводит к искажениям, вызванным тем, что высокочастотные составляющие ослабляются сильнее, чем низкочастотные. Кроме того, временны́е задержки для высоких частот тоже больше. Влияние ограниченной полосы пропускания на передачу прямоугольных импульсов показано на рис. 4.2,*б*.

Полученная в вычислительной машине информация имеет цифровую форму, хотя и не периодическую, в отличие от последовательности прямоугольных импульсов равной длительности. Тем не менее, при передаче она во многом схожа с прямоугольными импульсами. Отсюда следует, что задача передачи данных в распознаваемой форме оказывается подобной задачам, связанным с передачей периоди-

ческих прямоугольных колебаний. Искажения информации могут быть настолько сильными, что невозможно различить нуль и единицу, если не принять специальных мер.

Поскольку каналы связи не приспособлены для передачи цифровой информации, последнюю предварительно преобразовывают в эквивалентные аналоговые периодические колебания. Это — основополагающий принцип передачи данных по каналам связи, осуществляемый при помощи *модемов*. Термин модем является сокращением словосочетания *модулятор/демодулятор*. Цифровая информация преобразуется в аналоговые сигналы (в модеме происходит их модуляция), которые затем передаются. Эти аналоговые сигналы преобразуются в пункте приема в эквивалентную цифровую форму (демодулируются). Применяется много различных методов модуляции цифровых сигналов.

Амплитудная модуляция. Амплитуда некоторой фиксированной несущей меняется в соответствии с входной последовательностью бит.

Частотная модуляция. В соответствии с изменениями во входной последовательности бит меняется (в обе стороны относительно некоторого среднего значения) частота несущей.

Фазовая модуляция. В этом методе модуляции соответственно изменению бит меняется фаза колебания несущей.

Ясно, что модемы, которыми заканчивается с обоих концов канал связи, должны работать с использованием одного и того же метода модуляции и обладать равным быстродействием.

Мерой интенсивности изменения состояния среды передачи и управляющих устройств является скорость, измеряемая в *бодах*. Таким образом, скорость в бодах в системе с амплитудной модуляцией определяет скорость, с которой амплитуда сигнала меняется от одного значения к другому. В простых системах, где каждый из возможных уровней модулированного сигнала служит для представления одной двоичной цифры (0 или 1), скорость передачи данных в бодах равна значению максимальной скорости передачи последовательности бит. Для пользователей и проектировщиков ЭВМ представляет интерес скорость пересылки бит, а не скорость, с которой может меняться состояние среды передачи. Скорость передачи последовательности бит можно повысить по сравнению со скоростью обмена в бодах, если просто использовать каждый из возможных уровней сигнала для одновременного представления более чем одного бита.

Хотя этот прием и не часто применяется в системах с амплитудной модуляцией, на рис. 4.3 показано, как с помощью четырех различных уровней амплитуды можно пред-

ставить четыре пары сочетаний бит: 00, 01, 10 и 11. Возможно использование более чем четырех уровней для переноса соответственно большего количества информации, но по мере увеличения числа используемых уровней усложняется конструкция модемов, которые должны различать уровни сигнала среди всех шумов, появляющихся в сетях связи. По этим причинам для обеспечения больших скоростей передачи данных прибегают к частотной и фазовой модуляциям.

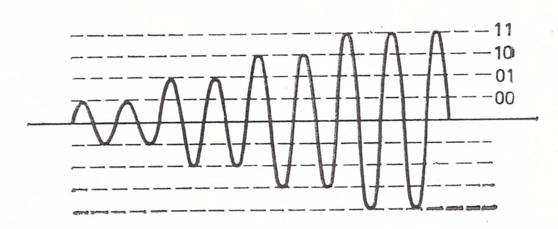


Рис. 4.3. Амплитудная модуляция четырьмя уровнями

Модемы являются сложными устройствами и с особенностями их применения лучше ознакомиться в книгах, специально посвященных этому предмету. Читателям, заинтересованным в дальнейшем изучении данной темы, рекомендуется прочитать работы [4.3, 4.4].

Рассмотрим специальные приемы, применяемые при передаче данных. Как правило, цифровые информационные устройства (терминалы, ЭВМ и др.) выдают информацию интенсивными порциями в течение коротких периодов времени. Во время информационных «всплесков» скорость вывода данных очень высока. Каналы должны обеспечить передачу данных с максимально высокой скоростью, соответствующей скорости вывода данных из устройств, а не с некоторой усредненной по продолжительному временно́му интервалу скоростью передачи. Естественно, модемы и каналы связи, пригодные для более скоростной передачи, намного дороже низкоскоростного оборудования. Решить эту проблему можно, разделяя использование одного высокоскоростного канала между несколькими обычными устройствами с помощью промежуточной аппаратуры, именуемой *мультиплексорами и концентраторами.*

Различие между мультиплексором и концентратором раньше было очевидно, но по мере развития методов передачи и повышения «интеллектуальности» устройств оно стало исчезать. Сейчас эти термины употребляются как синонимы. До того, как это произошло, термин *уплотнение*

употреблялся по отношению к системам, в которых временные такты или частотные полосы разделяемого канала назначались заранее. Термин *концентрация* употреблялся по отношению к системам, в которых некоторое число устройств разделяло общую совокупность выходящих каналов на основе возникающих запросов на передачу. Концентратор должен был быть до определенной степени «интеллектуальным» устройством с буферной памятью, что позволяло ему распределять пропускную способность выходящих каналов без заметного влияния на работу подключенных устройств. Простому мультиплексору было присуще малоэффективное использование выходных каналов, особенно если не все подсоединенные к этим каналам устройства непрерывно посылали по ним информацию. Концентратор позволял улучшить использование пропускной способности каналов. Способы уплотнения развивались таким образом, что улучшалась эффективность использования линии за счет применения «интеллектуальных» мультиплексоров, выполняющих функции, близкие к функциям концентраторов.

4.1.1. УПЛОТНЕНИЕ

Уплотнение имеет большое значение для локальных сетей, поскольку ресурсы сети распределяются между большим числом индивидуальных пользователей. Ниже предполагается обсудить некоторые из наиболее принятых методов уплотнения.

Временно́е уплотнение. Как правило, вместо того, чтобы обеспечивать каждое низкоскоростное устройство отдельной линией связи с ЭВМ, устанавливается один общий мультиплексор с временны́м уплотнением. Мультиплексор предоставляет каждому из подключенных устройств один временной такт, в течение которого это устройство получает в свое монопольное пользование быстродействующий канал, обслуживающий всю совокупность таких устройств. Сами устройства выдают данные со свойственным им быстродействием. Поэтому используются короткие временны́е такты, и каждое из устройств может часто пользоваться общим каналом. Емкость буферной памяти мультиплексора может быть минимизирована. На противоположном конце канала требуется еще один такой же мультиплексор для того, чтобы «распутать» поток поступающих данных и распределить их по отдельным устройствам.

Временно́е уплотнение в только что описанной простой форме находит применение в локальных сетях, особен-

но в кольцевых. В подобных сетях каждой станции предоставляется возможность пользоваться кольцом в течение некоторого фиксированного интервала. Сама функция уплотнения не возлагается на отдельное устройство, а реализуется посредством управления доступом к кольцу.

Статистическое временно́е уплотнение. Применение метода временно́го уплотнения, при котором используются фиксированные временны́е такты, может оказаться малоэффективным, даже если каждое из устройств все время передает или принимает информацию. А последнее в практике встречается исключительно редко. Принцип, на котором основывается метод статистического временно́го уплотнения, заключается в том, что временны́е такты предоставляются устройству лишь тогда, когда это устройство действительно в них нуждается. Устройства, подсоединенные к такому статистическому мультиплексору, могут соперничать друг с другом за право доступа к общей линии или каналу. Мультиплексор, очевидно, должен быть в достаточной степени «интеллектуальным» устройством для того, чтобы определить, какому из устройств требуется такт, и для того, чтобы выполнить обычную функцию уплотнения в том случае, когда нескольким устройствам одновременно требуется общий канал. Маловероятно, чтобы все устройства одновременно требовали использования разделяемого канала. Поэтому при одинаковой пропускной способности статистический мультиплексор сможет поддержать большее количество устройств, чем обычный мультиплексор с временны́м уплотнением.

Предположение о чрезвычайно малой вероятности того, что всем устройствам сети может одновременно понадобиться передавать информацию, лежит в основе многих методов разделения локальной сети. В тех локальных сетях, где используются методы множественного доступа с контролем несущей, в основном применяется статистическое временно́е уплотнение. При этом длительность временны́х тактов в сети определяется длиной пакета, который нужно передать, а распределяются эти такты по требованиям устройств на передачи информации. Интерфейсные модули делаются «интеллектуальными» для того, чтобы распределять канал между отдельными устройствами. Эти модули связаны с каждым из устройств, требующих доступа к каналу. Поэтому нет необходимости в отдельном независимом мультиплексоре.

Частотное уплотнение. Ранее уже обращалось внимание на то, что любой канал, используемый для пере-

дачи информации, имеет определенную полосу пропускания частот. В телефонной сети она очень узка. Некоторые каналы обладают широкой полосой пропускания. Для коаксиального кабеля она имеет порядок нескольких сотен мегагерц. Если имеется канал с широкой полосой пропускания, то такую полосу можно делить на несколько более узких полос, каждая из которых должна быть адекватной для выбранной скорости передачи цифровых данных. Между частотными полосами должны быть узкие защитные полосы, чтобы минимизировать интерференцию между соседними рабочими частотами.

При использовании частотного уплотнения широкая полоса пропускания некоторой среды передачи разделяется на некоторое число индивидуальных каналов. Этот способ применяется по отношению к локальным сетям с передачей модулированных сигналов, использующим один или два коаксиальных кабеля с рабочей полосой пропускания 300 ... 400 МГц. Предложены различные пути использования индивидуальных каналов, начиная от предоставления какого-то заранее определенного набора каналов паре пользователей до распределения всей совокупности каналов между сравнительно низкоскоростными устройствами с помощью рассмотренных методов временно́го уплотнения. Кроме того, метод частотного уплотнения в приложении к локальным сетям допускает передачу информации аналогового вида (например, речи, преобразованной в сигналы тональной частоты, телевизионных сигналов) без предварительного преобразования в цифровую форму.

Подробности относительно локальных сетей с передачей модулированных сигналов и применения в таких сетях метода частотного уплотнения излагаются в разд. 4.2.2 и гл. 6.

4.1.2. ПРОТОКОЛЫ УПРАВЛЕНИЯ КАНАЛАМИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

До сих пор рассматривались и обсуждались только физические характеристики среды, через которую передается информация. Если известно, как связать два устройства либо как распределить канал между несколькими устройствами, то необходимо разработать методы, гарантирующие передачу цифровой информации в надлежащее время, в заданном порядке и с обнаружением и исправлением ошибок. Эти методы являются основными компо-

нентами *протоколов управления каналами передачи данных*.

В случае двухточечного канала связи, который не разделяется другими пользователями, информационный поток может выходить из узла вместе с необходимой управляющей информацией для синхронизации. Например, перейти в состояние готовности к приему, закончить передачу сообщения, начать передачу новой строки и пр. Протоколы, необходимые для таких каналов, могуть быть несложными и вполне адекватно функционировать. При обсуждении методов уплотнения было замечено, что многие из них предусматривают разбиение информационного потока, который будет передаваться по общему для нескольких устройств каналу, на небольшие по размеру блоки, причем разбиение должно предшествовать поступлению информации в сеть. Такое разбиение часто называется *кадрированием* и широко применяется в локальных сетях.

Чтобы понять место, занимаемое современными методами упаковки данных в кадры, вначале следует описать простые знакоориентированные протоколы передачи данных.

Раньше терминалы были «неинтеллектуальными» или «малоинтеллектуальными» и каждый символ, набираемый оператором на клавиатуре такого терминала, изображался набором двоичных цифр, который затем передавался по каналу. Чтобы аппаратура на противоположном конце канала распознавала начало и конец символа, использовались специальные последовательности бит — метки. Метки начала и конца обычно были длиной в два бита. Этот прием не очень удобен, если требуется передать последовательность из нескольких символов. Для таких случаев используются методы *синхронизации*, когда отправитель и получатель договариваются о передаче символов с согласованной скоростью. Это устраняет необходимость в метках конца и начала для каждого символа. Из символов составляются блоки, а весь блок перед передачей обрамляется метками-ограничителями. Для того чтобы отправитель и получатель работали друг с другом «в такт», необходимо, чтобы синхронизирующие символы непрерывно передавались даже тогда, когда нет передачи данных. На практике большинство реализаций знакоориентированных протоколов предусматривает передачу синхронизирующих символов с равной частотой и в потоке данных для того, чтобы сбрасывать счетчик синхроимпульсов приемника.

Наряду с символами, служащими для передачи данных (главным образом, знаков алфавита и цифр), требуются и некоторые специальные символы — для управления работой устройств, связанных с процессом передачи данных. Наиболее очевидными примерами подобных символов могут служить символы, предназначенные для управления положением каретки или печатающей головки устройства печати. Самим же устройствам приходится непрерывно сканировать входящий поток в ожидании такого символа управления.

Знакоориентированные протоколы удобны для медленных и сравнительно «малоинтеллектуальных» устройств, генерирующих обычное для клавиатуры множество символов. В более сложных ситуациях, например, когда требуется поддержание связи между несколькими ЭВМ или между ЭВМ и контроллерами, требуются более сложные протоколы.

Для того чтобы приспособить знакоориентированные протоколы для различных целей, были разработаны методы их усовершенствования. Протокол, известный как *базовый режим*, является основой для самых совершенных приемов этого рода. При базовом режиме символы объединяются в блоки, каждый из которых начинается с заголовка и заканчивается «концевиком» (трейлером). Заголовок может содержать адрес, благодаря чему несколько устройств будут обслуживаться одним каналом связи, а каждое из них — опрашиваться управляющим устройством независимо от других. В протокол с базовым режимом включается не только определение способов, которыми сообщения делятся на кадры. В такой протокол входят также и правила, которых должно придерживаться каждое из устройств для того, чтобы мог состояться упорядоченный обмен информацией.

Ни одна из вышеописанных процедур не подходит в точности для современных локальных сетей. Тем не менее, они полезны в качестве иллюстраций к состоянию развития протоколов на тот момент, когда было обнаружено, что ограничения, налагаемые знакоориентированными процедурами, мешают дальнейшему развитию сетей передачи данных.

В 1968 г. был предложен новый принцип построения протоколов передачи данных, основанный на такой структуре, когда для передачи собственно данных и контрольно-управляющей информации отводятся различные поля. Этот метод, известный ныне под названием *высокоуровне-*

вый протокол управления каналом передачи данных (HDLC — high-level data link control), разрабатывался для обеспечения независимости протокола от множества различных форматов кодирования информации и используемых контрольных последовательностей. Применяя протокол HDLC, можно было не заботиться о постоянстве длины каждого символа, поскольку при побитовом представлении данных, будь то алфавитные символы, двоичные числа, дисятичные цифры, они полностью располагаются внутри поля данных кадра.

Поля заголовка и концевка четко указывают границы поля данных. Начало кадра указывается специальной флаговой последовательностью бит.

Поскольку в этом случае отсутствуют какие-то заранее оговоренные требования относительно структуры данных, содержащихся в кадре, такой протокол часто называют *бит-ориентированным,* отличая его от ранее описанных знакоориентированных протоколов.

Протокол HDLC удобен для *полудуплексной* и *дуплексной* синхронной передачи. Дуплексное соединение означает, что устройство и среда, через которую передается информация, могут передавать и принимать данные в одно и то же время. Полудуплексное соединение означает, что информационный поток может быть направлен в обе стороны, но только не одновременно. *Симплексная* передача для вычислительных сетей не типична. Этот термин означает, что информация передается только в одном направлении, как, например, в случае радиовещания или передачи телевизионных программ.

Можно выделить три основных компонента протокола HDLC структура кадра, элементы процедуры и классы процедуры.

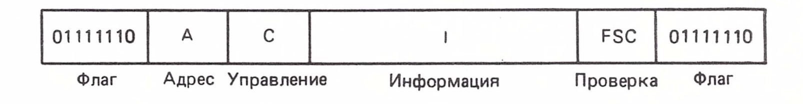


Рис. 4.4. Структура кадра в протоколе HDLC (FCS — проверочный код)

Структура кадра показана на рис. 4.4. Передаваемые данные размещаются в информационном поле кадра протокола HDLC и обрамляются с обеих сторон управляющими полями, как это показано на рисунке. Сам кадр ограничивается двумя флаговыми полями, содержащими,

как показано, специальную последовательность бит. Чтобы исключить такие же комбинации бит внутри кадра, применяется прием, при котором бит 0 вставляется отправителем после каждой последовательности из пяти единиц, если эта последовательность встречается внутри кадра. Получатель выполняет обратную операцию, прежде чем передать принятую информацию либо устройству, для которого она предназначалась, либо программе. Использование жесткой структуры кадра наряду с описанным приемом вставки бита, обеспечивающим *прозрачность*[1] протокола, избавляет от необходимости сканировать поступающую информацию в поисках управляющего символа.

Адресное и управляющее поля кадра могут служить для указания адреса источника информации или адреса узла-получателя, а также назначения самого кадра — в зависимости от конкретных обстоятельств, в которых этот кадр используется. Поле проверки кадра Frame Check Sequence (FCS) служит для обнаружения ошибок, появляющихся в адресном, управляющем и информационном полях.

«Элементы протокола» HDLC описывают команды и ответы на них, используемые при передаче данных. «Классы протокола» устанавливают наборы команд и ответов, соответствующих различным режимам работы канала связи (например, режим типа главный-подчиненный, двухточечный режим и т. п.). Более подробно HDLC и другие протоколы управления каналом передачи данных описываются в работе [4.5].

Протокол HDLC более гибок и эффективен, чем ранее применявшиеся протоколы управления каналами передачи данных. Он стал основой для сетей с коммутацией пакетов и используется также в видоизмененной форме во многих локальных сетях по той причине, что каждый кадр с информацией может быть снабжен отдельным адресом и помещен между другими кадрами, отправляемыми различными источниками по другим адресам. Эта способность распределять канал между различными источниками информации и разными ее получателями является ключом к построению разделяемой сети.

---

[1] Прозрачность — это свойство процедуры управления каналом, позволяющее передавать по каналу информацию, закодированную любым способом, и отличать управляющие поля от данных пользователя. — *Прим. перев.*

4.2. МЕТОДЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ

Разработчикам локальных сетей предъявляются два основных требования, которые касаются уплотнения и необходимости обеспечения надежной передачи данных. Эти требования являются общими для всех вычислительных сетей, однако в локальных сетях они должны быть реализованы совершенно новым образом. Данный раздел посвящен методам, используемым при передаче данных в локальных сетях. Уплотнение считается составной частью методов доступа и будет обсуждаться совместно с ними в гл. 5.

Множество ограничений, которые налагаются на локальные сети, отличается от ограничений, налагаемых на обычную ЭВМ или на обычную сеть передачи данных. В результате выбор сети обусловливается, главным образом, этими ограничениями. Основные отличительные особенности локальных сетей состоят в следующем:

невысокая стоимость по сравнению со стоимостью устройств, подсоединенных к сети;

малые расстояния, что позволяет использовать простые методы модуляции;

малые расстояния и простые методы модуляции, которые позволяют применять простые интерфейсные устройства;

кабель сети используется всеми пользователями и должен обеспечивать высокую скорость передачи данных;

уровень ошибок должен быть низким, благодаря чему можно упростить интерфейсные устройства.

Трудно удовлетворить всем разнообразным требованиям и создать сеть, подходящую для всех возможных режимов использования, отвечающую всем критериям проектирования, особенно, если одним из критериев является простота сети. В этом смысле у локальных сетей есть одно очень важное преимущество по сравнению со многими другими системами. Поскольку локальная сеть целиком помещается на участке ограниченной площади, то ее можно спроектировать и настроить так, что она полностью будет отвечать требованиям пользователей в данном месте и может не соответствовать ограничениям и правилам, соблюдения которых требуют администрации сетей связи общего пользования.

Для локальных сетей был развит ряд идей, которые представляют основу для проверки эффективности методов передачи модулированных и немодулированных сигналов, топологии шины и кольца.

Топологии сетей рассматривались в гл. 3, поэтому в данной главе мы не будем детально останавливаться на них.

4.2.1. ПЕРЕДАЧА НЕМОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

При передаче цифровой информации биты нуля и единицы принимают дискретные значения, а сигнал передается в сети непосредственно в виде этих дискретных величин, а не в виде колебаний частоты, фазы или амплитуды.

Методы передачи немодулированных сигналов широко применяются разработчиками локальных сетей, поскольку в этом случае не нужны модемы, а сигнал можно передавать с очень высокими скоростями. Для передачи информации на большие расстояния эти приемы непригодны. Кроме того, они не удобны для каналов, подвергающихся воздействию шумов, интерференции или случайных сбоев. Однако в условиях ограниченной протяженности локальной сети передача дискретных сигналов зачастую оказывается очень удобной. Проектирование интерфейсных устройств вместо модемов сравнительно несложно, поскольку все их функции сводятся к обнаружению изменений сигнала.

В реальных системах применяется способ, именуемый *манчестерским кодированием*, когда двоичные цифры передаются различными уровнями сигнала. При этом последовательность из одинаковых цифр передается таким образом, что получатель имеет возможность распознать начало и конец каждой цифры.

На рис. 4.5 показан сигнал, сформированный по методу манчестерского кодирования. Временно́й интервал передачи двоичной цифры делится пополам. Бит, равный 1,

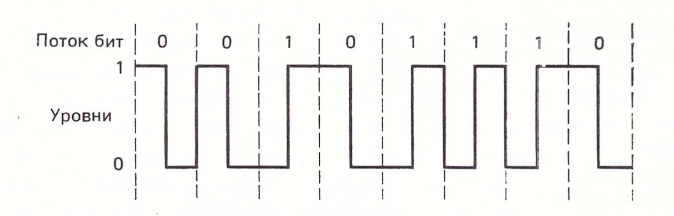


Рис. 4.5. Манчестерское кодирование

передается в виде последовательности 01. Бит, равный 0, передается последовательностью 10. В течение каждого временно́го интервала, отводимого под передачу одного бита, сигнал меняет значение точно посередине интервала, так что приемное и передающее устройства всегда могут

работать в такт. Это — метод кодирования с *самосинхронизацией.* Манчестерское кодирование очень легко реализовать на практике. При этом интерфейсные устройства и повторители сети можно сделать дешевыми и несложными.

В сети с передачей немодулированных сигналов об отсутствии передаваемых в настоящий момент данных свидетельствует отсутствие какого бы то ни было сигнала в передающей среде. Если устройство начало передачу с самого начала массива данных, то устройство, принимающее данные, скорее всего пропустит несколько первых бит, поскольку на захват сигнала и на подстройку внутренних счетчиков синхроимпульсов по частоте передатчика требуется некоторое время. По этой причине в некоторых сетях передаче информации предшествует короткая преамбула, содержащая некоторый определенный набор бит. Если приемное устройство пропустит начало этой преамбулы, оно все же сумеет обнаружить ее конец благодаря особой последовательности бит в конце преамбулы. После преамбулы следуют передаваемые данные. Сети с кольцевой структурой обычно не нуждаются в передаче подобных преамбул, так как данные или «холостые» символы непрерывно циркулируют по кольцу.

Если мы сравним этот прием с передачей кадра в протоколе HDLC, то обнаружатся некоторые сходства и расхождения. Заголовок и концевик кадра протокола HDLC содержат определенные последовательности бит. После этих последовательностей получатель ждет или начала информационных полей, или же начала следующего заголовка. Преамбулы, необходимые в некоторых локальных сетях, могут занять место заголовка [1], поскольку назначение у них одно и то же. Концевик можно отбросить целиком, так как прекращение сигнала уже указывает на завершение кадра. Если передача была прервана преждевременно, то длина кадра не будет совпадать с указанной в специальном поле длиной кадра (если таковое используется) или с содержанием поля проверки кадра.

Как упоминалось выше, немодулированные сигналы можно использовать для передачи информации на короткие расстояния. Передающая среда должна изменять свое состояние быстро, чтобы обеспечить возможность передачи данных. Если скорость передачи данных равна 10 Мбит/с и применяется манчестерское

---

[1] Очевидно, имеется в виду только флаговое поле в заголовке кадра (см. рис. 4.4). — *Прим. перев.*

кодирование, то передающая среда должна менять состояние, по крайней мере, 20 млн. раз/с. Однако способностью достоверно передавать информацию с такой скоростью должна обладать не только передающая среда. Интерфейсные устройства и повторители должны считывать и передавать информацию с такой же скоростью. При работе канала в режиме передачи немодулированных сигналов эффективно используется вся ширина полосы пропускания, поэтому можно передать только один сигнал. При высокой скорости передачи данных, малых расстояниях и использовании цифровых устройств это не является серьезным недостатком. Однако передача длинных информационных потоков от одного пользователя может заблокировать потоки от других пользователей.

4.2.2. ПЕРЕДАЧА МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

Передача модулированных сигналов — более традиционный метод использования широкополосных каналов связи по сравнению с описанным в предыдущем разделе методом передачи немодулированных сигналов. В основу его положен принцип модулирования колебаний несущей частоты. Используемая передающая среда обладает очень широкой полосой пропускания (300 ... 400 МГц). Поэтому в одних и тех же каналах могут быть несколько несущих частот, так что возможно применение методов частотного уплотнения. Хотя используется одна и та же физическая сеть, она представляется как несколько отдельных сетей.

Этот метод уже реализован в кабельном телевидении, где по одному участку кабеля передается несколько телевизионных сигналов. Каждый канал размещается на присвоенной ему отдельной частоте, а подключаемые приемники настраиваются на частоту соответствующего канала. Канал цветного телевидения требует полосы частот шириной 6 ... 8 МГц для передачи всей информации, поэтому каналы разделены промежутками 6 ... 8 МГц. Ширина такого промежутка включает «пробелы» или защитные частотные полосы между соседними каналами для минимизации наложений соседних каналов.

В случае использования таких каналов для модуляции цифровой информации на несущей частоте требуются модемы. Необходимая для этого ширина полосы пропускания зависит от скорости, с которой должны передаваться данные, но на практике полоса 300 кГц (включая защитные полосы) применяется для передачи дан-

ных со скоростью 128 кбит/с. Бо́льшая скорость требует более широких полос. Типичное разделение частот в локальной сети показано на рис. 4.6.

Краткий анализ реализаций системы с передачей модулированных сигналов показывает, что имеется ряд проблем, которые необходимо преодолеть.

Первая сопряжена с тем, что каналы одной и той же физической сети логически независимы. Это может показаться достоинством, но в вычислительной сети возникает ряд проблем. Устройству, подсоединяемому к сети, предоставляется определенный частотный диапазон для передачи. Другое устройство, принимающее эти данные, должно быть настроено на ту же частоту. Для передачи в противоположном направлении понадобится иная частота. Поэтому передающий канал одного из применяемых в таком режиме модемов является приемным каналом второго. Подобная система приемлема в случае двухточечных соединений пары устройств, например, при подсоединении терминалов к ЭВМ. Когда нужно подключить большое количество терминалов или других устройств, ЭВМ будет перегружена модемами, так как каждая пара каналов нуждается в отдельном модеме. Используемые в сетях с передачей модулированных сигналов модемы представляют собой устройства, работающие в радиочастотном диапазоне, типа приемник/передатчик и модулятор/демодулятор, а это значит, что они являются довольно сложными. До последнего времени каждый радиочастотный модем мог работать только на одной или двух частотах, из-за чего было трудно установить канал связи с устройствами, использующими другую частоту.

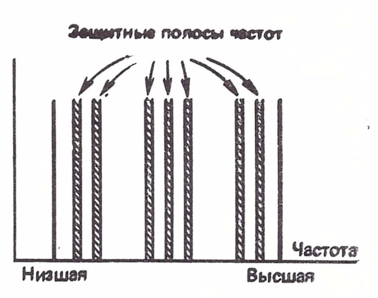


Рис. 4.6. Разделение частот в сети с передачей модулированных сигналов

Одним из решений данной проблемы является применение так называемых модемов с перестраиваемой частотой. Это стандартные радиочастотные модемы, но способные легко переходить с одной частоты на другую. Если такому модему сообщить, на какой частоте ему следует работать, он перейдет на требуемую частоту. Одним из способов, которым это можно осуществить, является включение в сеть специального контроллера. Если одно устройство требует передачи информации какому-то другому ус-

тройству (скажем, ЭВМ), то первое устройство сначала передает сообщение «Запрос вызова» на частоте, зарезервированной для сообщения этого типа. Контроллер затем просматривает таблицы, выясняя, какие частоты свободны, после чего посылает отправителю и получателю сообщение, в котором указывает их рабочую частоту. Модемы перестраиваются на соответствующие частоты до конца обмена сообщениями.

Примером того, каким образом может быть использована сеть с одиночной шиной при передаче модулированных сигналов, является система управления, изображенная на рис. 4.7,*а*. На рисунке показаны логические соединения устройств, связанных с задачами управления и слежения за процессом, а также центральная управляющая ЭВМ. Как реализуется подобная система с помощью шины — показано на рис. 4.7,*б*.

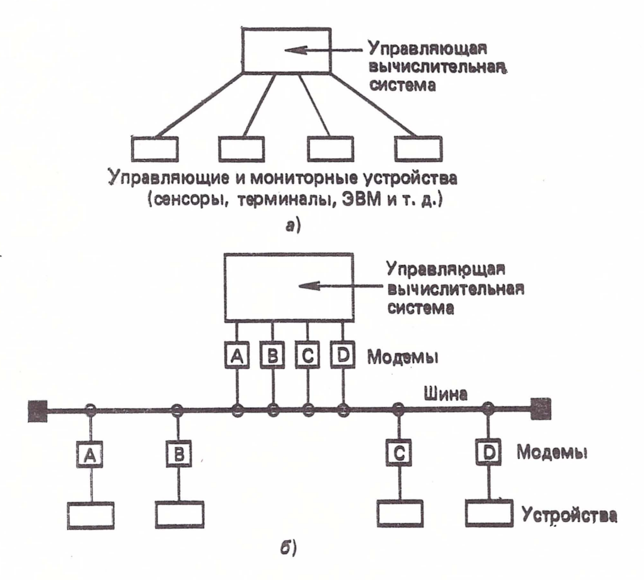


Рис. 4.7. Использование шинной сети с передачей модулированных сигналов:
а — структура управления и слежения за процессом; *б* — практическая реализация

Управляющая ЭВМ использует некоторое количество своих портов ввода-вывода для связи с модемами, которые настроены на отдельные каналы (A, B, C...). Соответствующие модемы служат для подключения к шине датчиков и следящих устройств.

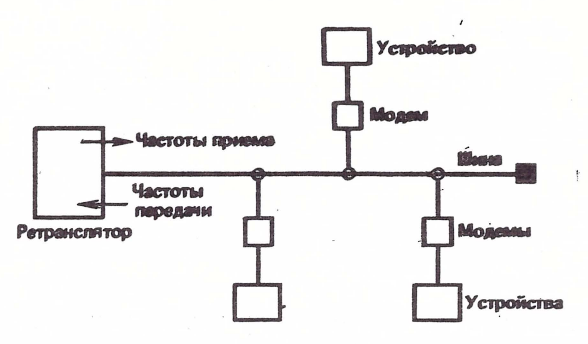


Рис. 4.8. Использование ретранслятора с преобразованием частоты

Другой способ использования шины с передачей модулированных сигналов, который становится все более популярным, иллюстрирует рис. 4.8. На одном конце шины помещается специальный ретранслятор, преобразующий весь спектр частот, использующийся для передачи, в спектр частот, предназначенный только для приема. Например, если общая ширина полосы пропускания передающей среды равна 300 МГц (от 100 до 400 МГц), то под передаваемую информацию можно отвести спектр частот от 100 до 250 МГц. Ретранслятор преобразует частоту передаваемого сигнала каждого из индивидуальных каналов, например, частоту около 150 МГц в частоту 150+ +150=300 МГц, на которой затем передает информацию. Прием у всех модемов производится на частотах от 250 до 400 МГц.

Более простым методом является применение двух кабелей, один из которых отведен под передачу, а второй — под прием. Те же самые частоты, видимо, можно использовать в обоих кабелях, а ретранслятор на конце шины будет выполнять задачу приема всех переданных по передающему кабелю сообщений и ретрансляции их в приемный кабель.

Преимущество этого метода заключается в том, что радиочастотные модемы могут быть одинаковыми. Прием сигналов по одному кабелю и передача по другому осуществляются на одной и той же частоте. С другой стороны, подключаемые к сети устройства могут разделять один канал или осуществлять попарное взаимодействие. Этот метод получил дальнейшее развитие на основе идеи множественного доступа к шине, при котором несколько отправителей данных соперничают между собой за право пользования шиной. Примеры такого подхода приводятся в гл. 6.

4.3. ПЕРЕДАЮЩАЯ СРЕДА

Любая физическая среда, способная передавать информацию с помощью электромагнитных колебаний, потенциально может использоваться в локальной сети. В реальных сетях в качестве передающей среды применяются в основном витые пары проводов, коаксиальные кабели и волоконно-оптические кабели. В особых случаях могут использоваться и другие виды передающей среды.

4.3.1. ВИТЫЕ ПАРЫ

Витая пара проводов используется в стандартных телефонных соединениях и при подключении телексных терминалов. Внутри экранированной оболочки содержится одна или более пар проводников. Каждая пара проводов свита наподобие спирали, что обеспечивает достаточную постоянность и предсказуемость электрических характеристик канала.

Витые пары в телефонных соединениях используются, главным образом, для аналоговых сигналов, но могут с успехом применяться и при передаче цифровой информации, особенно в кольцевых сетях, где затухание сигнала в витой паре и рассогласование можно скомпенсировать, размещая повторители сигналов чаще. Так как трудно гарантировать одинаковую длину проводов витой пары, при их большой длине может возникнуть значительное различие во времени распространения сигнала. В локальных сетях витые пары применяются, как правило, в режиме передачи немодулированных сигналов, причем две или больше пар отводятся для передачи сигналов оповещения о предстоящей передаче данных.

Различная длина проводов приводит к тому, что принимаемые сигналы отличаются фазой, и повторителям не удается точно считать информацию. По этой причине повторители кольцевой сети с витыми парами размещаются поблизости друг от друга.

Ширина полосы пропускания витой пары достаточно большая, особенно если учесть то обстоятельство, что витые пары были созданы для аналогового телефонного трафика. Скорость передачи данных по витой паре может достигать 100 Мбит/с, но чаще используется скорость обмена 10 Мбит/с [1].

---

[1] Заметим, что недостатком витых пар часто считают низкую скорость передачи. До недавнего времени одной из самых скоростных сетей с витыми парами считалась сеть OMNINET фирмы Corvus System, США (скорость передачи 1 Мбит/с). — *Прим. перев.*

Хотя такой кабель обычно заключен в оболочку, он, тем не менее, подвержен влиянию электромагнитных наводок. По этой причине витые пары считаются неподходящими для применения на промышленных предприятиях. Однако для большинства условий они вполне приемлемы. Витые пары применяются главным образом в кольцевых сетях, и в тех местах, где располагаются повторители и где могут стыковаться два разных типа кабеля. В кольцевых сетях имеется возможность вставлять в критическом месте секцию кабеля такого типа, который не чувствителен к наводкам. Таким образом, в кольцевых сетях можно применять витые пары на большей части длины, а коаксиальный кабель или даже волоконно-оптический кабель — в некоторых участках кольца.

4.3.2. КОАКСИАЛЬНЫЙ КАБЕЛЬ

Коаксиальный кабель состоит из центрального проводника, окруженного слоем изолирующего материала, который отделяет центральный проводник от внешнего проводящего экрана, покрытого, в свою очередь, слоем изоляции. Экран может представлять собой как сплошной металлический цилиндр, так и один или больше слоев плетеной проволоки.

Имеется много разновидностей коаксиального кабеля, отличающихся своими характеристиками. Одни кабели лучше передают высокие частоты, другие отличаются меньшим затуханием, устойчивостью к наводкам и т. п. Кабель самого высокого качества очень жесткий и его трудно монтировать, но низкочастотные коаксиальные кабели могут оказаться малопригодными в случае больших расстояний и высоких скоростей передачи. Еще одним параметром коаксиального кабеля является его характеристическое сопротивление, зависящее от частоты. В большинстве случаев такой кабель в рабочем диапазоне частот имеет сопротивление 50 или 75 Ом.

Электрические характеристики коаксиального кабеля делают его непригодным для многих целей. Однако он очень удобен для передачи высокочастотных сигналов при сохранении относительной устойчивости к электрическим наводкам. Он удобен для передачи модулированных и немодулированных сигналов. В сетях кабельного телевидения используется коаксиальный кабель, полоса пропускания которого больше 300 МГц. С его помощью можно передавать сигналы на большие расстояния.

В режиме передачи немодулированных сигналов коаксиальный кабель позволяет передавать информацию со скоростью 10 Мбит/с. Ограничения на быстродействие налагаются применяемыми методами доступа, а также длиной кабеля и подсоединенными к нему передающими и принимающими устройствами, но не самим кабелем.

Коаксиальный кабель легко поддается разрезанию на куски и прокладыванию специальными врезками, причем это не влияет на его электрические характеристики. Итак, хотя коаксиальный кабель и дороже витой пары, лучшие электрические свойства и простота монтажа позволяют использовать его в качестве передающей среды большинства локальных сетей.

4.3.3. ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ

По волоконно-оптическим кабелям передаются не электрические сигналы, а свет или инфракрасное излучение. Кабель состоит из светопроводящего наполнителя на кремниевой или пластмассовой основе, заключенного в материал с низким коэффициентом преломления. Благодаря этому световые лучи отражаются внутри кабеля, и потери световой энергии при передаче сокращаются до минимума.

Принцип передачи света через стекло был известен давно, но лишь в последние 10 ... 15 лет появление гибких кабелей из прозрачного стекловолокна большой длины позволило, наконец, получить ширину полосы пропускания и величину затухания, достаточные для передачи данных. При всем их многообразии можно подобрать кабель, способный передавать информацию со скоростью 50 Мбит/с на расстояние в несколько километров без применения повторителей.

Информация, которую предполагается передавать по волоконно-оптическому кабелю, преобразуется с помощью светодиодов или импульсных лазеров в световые импульсы, которые направляются по кабелю, как это показано на рис. 4.8. На противоположном конце данного отрезка кабеля фотодиодный детектор воспринимает световые импульсы и превращает их в последовательность электрических импульсов. Прежде чем вновь подвергнуться обратному преобразованию в световое излучение, передаваемое в следующую секцию кабеля, импульсы усиливаются, формируются и подаются на вход подсоединенного устройства.

Волоконно-оптические кабели дороже обычных электрических кабелей и менее удобны при монтаже. Повтори-

тели сигналов также представляют собой сложные устройства, поскольку им приходится преобразовывать световые сигналы в электрические и обратно, а также усиливать сигналы. Из-за этого волоконно-оптические кабели не часто применяются в локальных сетях. Тем не менее, они имеют огромное значение для связи на больших расстояниях или там, где возникают электрические наводки, поскольку эти кабели совершенно нечувствительны к ним.

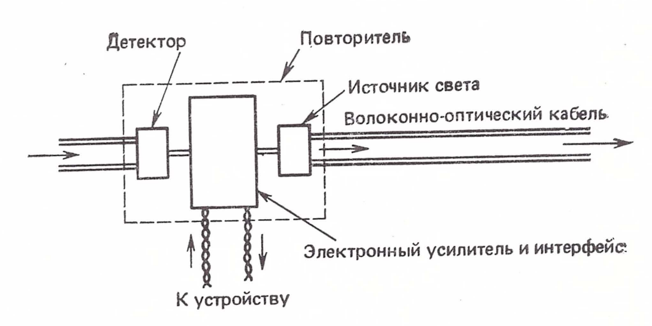


Рис. 4.9. Передача данных по волоконно-оптическому кабелю

Волоконно-оптические кабели представляют собой однонаправленную передающую среду с источником света на одном конце и детектором на другом. Для передачи данных в двух направлениях нужно два кабеля. Это обстоятельство делает волоконно-оптические кабели идеальной средой для кольцевых сетей, в которых информация передается только в одном направлении.

4.3.4. ПРОЧИЕ ПЕРЕДАЮЩИЕ СРЕДЫ

Для передачи данных можно воспользоваться радиоканалами, но для локальных сетей они не являются реальной альтернативой кабелям. Радиоканал может оказаться уместным, когда необходимо связать две или более локальных сетей, особенно если требуется высокая скорость передачи информации. Обычные телефонные каналы меньше подходят для этого, а радиоканалы могут реализовать требуемую ширину полосы пропускания.

В качестве передающей среды внутри одной комнаты без перегородок может использоваться инфракрасное излучение. Передатчик/приемник инфракрасного излучения помещается в «поле зрения» терминалов или других устройств, также оснащенных передатчиками/приемниками инфракрасного излучения. Передача может происходить

через главный повторитель, который, в свою очередь, подсоединяется к кабельной сети, располагающейся в любом месте здания. Данный метод имеет преимущество для открытых учрежденческих помещений, которые нельзя перегораживать и где кабели могут причинять неудобства и даже представлять опасность. Устройства, использующие в качестве передающей среды инфракрасное излучение, малогабаритны, удобны в монтаже и обладают шириной полосы пропускания, достаточной для большинства возможных применений.

Для установления связи между зданиями, находящимися в пределах прямой видимости, используются различные диапазоны частот — от инфракрасного до СВЧ.

5. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОГРАММНОМУ И АППАРАТНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ

Основа любой сети — это физическая среда передачи данных: провод, волоконно-оптический кабель, радиоканал и т. д. Используя передающую среду, узлы сети соединяются друг с другом и образуют топологию сети. В предыдущих главах рассматривались физическая среда передачи данных и топология сети, пригодные для локальных сетей. Однако не обсуждалось, как они используются на практике. В данной главе объясняется, как топология и физическая среда передачи данных образуют сеть, которая должна функционировать, согласно требованиям оконечного пользователя. Сама сеть и устройства, использующие ее, должны выполнять, по крайней мере, четыре функции:

1. *Передача сигналов.* Определяется, в каком виде должны быть представлены данные, чтобы их можно было передать в другие точки сети.

2. *Разделение пропускной способности сети.* Определяется, как распределять общую ширину полосы пропускания сети среди всех пользователей.

3. *Упаковка данных в кадры.* Определяется, как сообщение, подлежащее передаче, делится на блоки определенного размера.

4. *Адресация.* Определяется, как обеспечить передачу сообщения по назначению и без потери.

Очевидно, для обеспечения работы сети необходимо использовать наилучшие методы, взвесить преимущества и недостатки каждого из них с учетом конкретных условий.

В одних случаях некоторые топологии и методы доступа к сети пригодны, а в других — непригодны.

Метод доступа является одним из наиболее важных аспектов проектирования локальной сети. Обычно он реализуется программно или аппаратно в специальном устройстве, поставляемом изготовителем сети. С точки зрения оконечного пользователя среда передачи данных и топология сети не являются столь же важными аспектами.

Для обнаружения и исправления ошибок, возникающих при передаче данных, для однозначной адресации пользователей, для упаковки данных в виде, который требует данный метод доступа, и т. д., требуется специальная служба передачи данных. Оконечному пользователю необходимо дополнительное обеспечение, которое строится на верхнем уровне сети.

5.1. ТРЕБОВАНИЯ К СОЕДИНИТЕЛЬНЫМ УСТРОЙСТВАМ

Независимо от топологии для использования кабеля или другой физической среды передачи данных в сети необходимо подсоединить к этой среде передатчик/приемник и затем обеспечить выполнение ею ряда функций и правил. На рис. 5.1 показаны основные компоненты, необходимые для подключения к передающей среде.

Предполагается, что физическая среда соответствует намеченным целям (т. е. она имеет требуемые скорость передачи данных, топологию и т. д.). Первым шагом в направлении создания требуемой сети является подключение устройства для передачи и приема информационных сигналов. При этом важен сам способ подсоединения этого устройства к среде.

Соединительное устройство (соединитель) может быть как пассивным, так и активным. Пассивный соединитель не выполняет никаких сетевых функций, кроме передачи и приема сигналов для устройств, которые он обслуживает. Активный соединитель выполняет сетевые функции, а помимо этого обеспечивает переда-

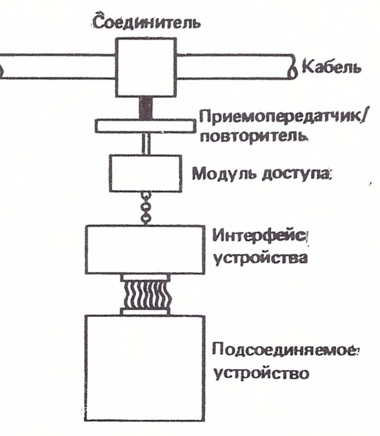


Рис. 5.1. Схема соединения с кабелем локальной сети

чу сигналов между другими устройствами сети. Пассивный соединитель в отличие от активного может быть удален из сети без влияния на процесс передачи данных между пользователями.

В широковещательных сетях обычно используются пассивные соединители, поскольку информационные сигналы передаются в сеть один раз, а затем допускается их естественное затухание. Соединитель функционирует подобно радиопередатчику или радиоприемнику. В большинстве существующих локальных сетей физической средой, используемой для передачи данных, является кабель, а не радиоканал. Таким образом, соединитель имеет электрический контакт с проводником в кабеле. Рисунок 5.2 иллюстрирует один из возможных методов подсоединения к коаксиальному кабелю. Этот тип соединителя может использоваться тогда, когда для установления контакта нет необходимости или нежелательно физически разрывать кабель. Кабель прокалывается с помощью двух зондов, один из которых контактирует с внешним металлическим экраном, другой для соприкосновения с центральным проводником пронизывает экранирующий и диэлектрический слои. Передатчик/приемник (обычно называемый приемопередатчиком) соединяется с терминалами, которые под-

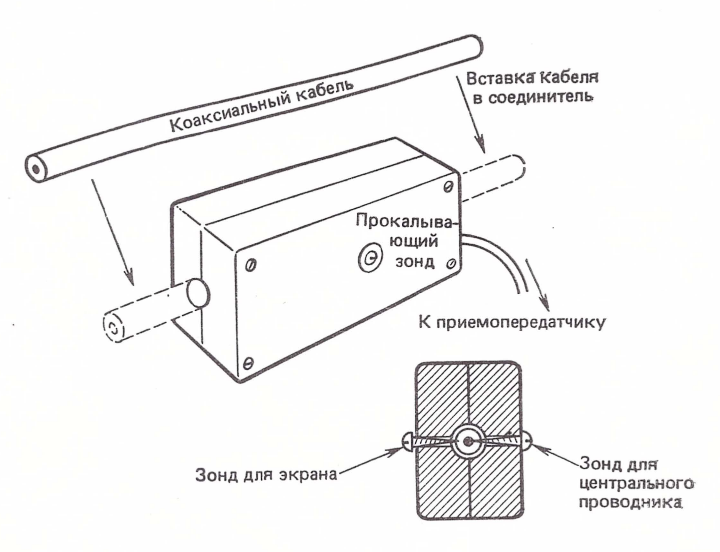


Рис. 5.2. Соединительное устройство для коаксиального кабеля, не требующее его разрезания

ключаются к среде через данный соединитель. При другов варианте подключения кабель может быть разрезан, а затем отдельные куски его соединяются друг с другом.

На рис. 5.3 показан соединитель другого типа. В этом случае кабель разрезается и обычные коаксиальные соединители подключаются к свободным концам кабеля. Затем они вставляются в соответствующие гнезда приемопе-

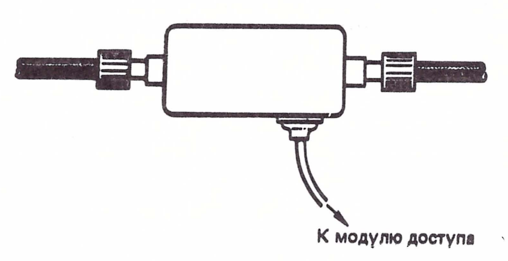


Рис. 5.3. Соединительное устройство, вставляемое в коаксиальный кабель

редатчика. Считается, что этот способ обеспечивает лучшее подсоединение к кабелю. Естественно, совершенный пассивный соединитель не должен оказывать никакого влияния на электрические характеристики сети в целом, но на практике при использовании в качестве среды передачи данных кабеля этого достичь невозможно. Таким образом, обычно имеются ограничения на размещение на кабеле пассивных соединителей (эти ограничения зависят от скорости передачи, типа кабеля и т. д.). Кроме того, имеется ограничение на максимальное число соединителей, используемых на одном сегменте кабеля. Устройство, в котором объединены соединитель и приемопередатчик (рис. 5.3), может размещаться в любом месте кабеля без ограничений. Оно использует специальные балансные цепи и поэтому не влияют на характеристики передачи кабеля.

Соединитель, показанный на рис. 5.2 и используемый совместно с приемопередатчиком, изменяет характеристики передающей среды. Поэтому для обеспечения надежной передачи он должен размещаться на кабеле только через определенные интервалы.

Пассивные соединители обладают следующими преимуществами:

легко согласуются с передающей средой;

могут применяться устройства, которые не требуют разрыва кабеля;

могут быть дешевыми, если используется небольшое число электронных компонентов;

дешевые соединители позволяют легко развивать готовую сеть, допуская простое подсоединение новых устройств, замену одних устройств на другие и т. д.

Однако пассивные соединители имеют следующие недостатки:

малонадежны при неблагоприятных условиях;

размеры сети и длина сегмента кабеля ограничены дальностью распространения сигнала от передатчика, поскольку соединитель не усиливает сигналы.

Альтернативой полностью пассивным соединителям, а при некоторых условиях и необходимостью, являются активные соединители. Они функционируют так, что не могут быть удалены из сети, не оказав при этом влияния на работу сети в целом и на те подключенные устройства, которые непосредственно используют их для доступа к передающей среде. Активные соединители применяются в кольцевых сетях, где требуется, чтобы сигнал постоянно регенерировался. Соединители позволяют подключенному устройству посылать и принимать сигналы, проходящие по кольцу сети, и помимо этого используются для усиления и регенерации этих сигналов.

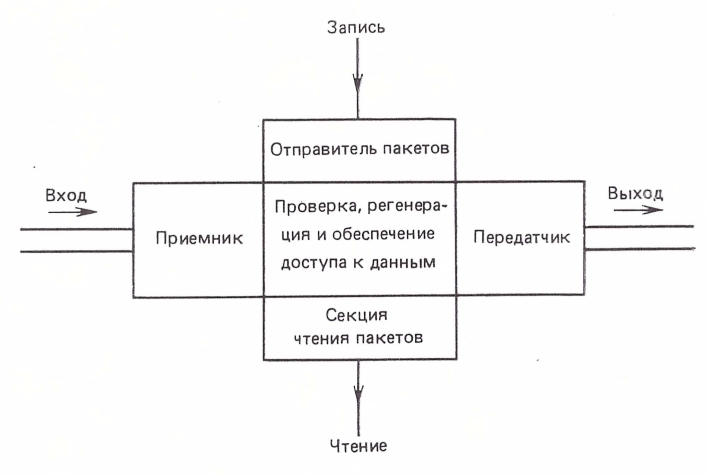


Рис. 5.4. Функции кольцевого повторителя

На рис. 5.4 показан типичный кольцевой повторитель, который последовательно соединяется с кабелем. Поскольку в большинстве кольцевых каналов сигналы передаются только в одном направлении, повторитель может состоять из принимающей секции, секции регенерации сигнала и передачи в кольцо новых пакетов с данными, а также передатчика для посылки сигнала следующему повторителю.

Преимущества этого подхода состоят в следующем:

поскольку сигналы могут регенерироваться в каждом повторителе, сеть может быть длинной;

не требуется высокое качество передающей среды;

повторитель может проверить целостность передаваемых через него данных;

обеспечивается гибкий доступ к среде и управление сетью;

передающая среда на входе повторителя может отличаться от среды на выходе.

Однако имеются следующие недостатки:

скорость передачи данных сети в целом может снижаться за счет повторителя;

сбой повторителя требует его обхода или замещения;

для вставки повторителя необходимо фактически разрывать физическую среду передачи данных, хотя продолжительность этой операции может быть минимальной, если использовать специальные разъемы.

Приемопередатчик или повторитель должны выполнять определенные функции, которые зависят от метода доступа или подключенного устройства. Основная функция этих устройств заключается в прослушивании передач в сети и в обеспечении приема этих передач другими устройствами, подключенными к сети, конкретно — модулем доступа, показанным на рис. 5.1. Приемопередатчик обычно не может сам определить, какие пакеты с данными адресованы ему или как выполнять протокол доступа.

Приемопередатчик или повторитель помимо этого служит для передачи информационных пакетов получателю. Эти пакеты должны соответствовать установленному формату и содержать верные адреса.

Для того чтобы приемники могли воспринимать передаваемую информацию, посылающие и принимающие приемопередатчики или повторители должны быть синхронизированы. Это достигается с помощью специальных синхросигналов, которые посылаются отдельно от данных или вводятся в них, как это делается при манчестерском кодировании.

Если в сети передаются модулированные сигналы (см. гл. 4), в качестве приемопередатчиков выступают модемы, которые в некоторых случаях обладают специальными функциями обеспечения дополнительного доступа к каналу. В сети с передачей немодулированных сигналов соединители обычно намного проще и могут эффективно работать при более высокой скорости передачи, поскольку их назначение состоит в обнаружении сигнала и распознавании последовательности импульсов, а не в модулировании несущей частоты.

5.2. МЕТОДЫ ДОСТУПА

Настоящая глава посвящена методам доступа, применяемым в локальных сетях. Фактически в разное время предложено и опробовано очень большое число методов доступа, но лишь немногие из них стали широко использоваться.

В этой главе подробно рассматриваются только те методы, которые оказали наибольшее влияние на существующие сети. Читателям, интересующимся другими экспериментальными методами, рекомендуется для первого ознакомления обратиться к [5.1—5.3], в которых они найдут описание бо́льшего количества различных методов, а кроме того, ссылки на более подробные описания.

Локальная сеть — это только один из примеров разделяемого ресурса. В гл. 4 обсуждены различные способы разделения пропускной способности канала передачи данных, основанные на обычном уплотнении и на методах опроса. В широком смысле временно́е уплотнение представляет собой один из способов использования канала группой отдельных устройств так, чтобы в каждый момент канал использовался только одним устройством. Здесь не оговариваются методы разделения времени между устройствами или длительности временно́го промежутка, отводимого каждому из них. Частотное уплотнение представляет собой удобный альтернативный метод, применяемый в сетях, когда несколько каналов могут использоваться в одно и то же время, причем эти каналы располагаются в различных диапазонах частот.

Рассмотренные методы уплотнения успешно применяются в локальных сетях, но в последнее время были разработаны некоторые новые разновидности этих методов для различных передающих сред, топологических структур и режимов работы. В локальных сетях редко применяется центральный мультиплексор с разделением времени или концентратор для распределения пропускной способности сети. Вместо этого ответственность за распределение пропускной способности сети обычно разделяется между всеми точками или *станциями*, имеющими доступ к сети. Рабочие частоты назначаются супервизором сети или же — в более сложных системах — специальным управляющим устройством.

Методы доступа к сети рассматриваются раздельно для кольцевых сетей и для сетей с широковещательной шиной. Рассмотрим подробно лишь методы, основывающиеся на ис-

пользовании методов временно́го уплотнения, так как методы частотного уплотнения, которые используются в шинных сетях с передачей модулированных сигналов, уже достаточно полно изложены в гл. 4. Здесь важно отметить, что в таких сетях для распределения отдельных каналов применяются стандартные приемы частотного уплотнения. В самих же таких каналах часто находят применение те известные приемы временно́го уплотнения, которые будут описаны далее. Это означает наличие возможности установления связи между несколькими устройствами в некоторой полосе частот вне зависимости от взаимодействий в других диапазонах частот.

5.2.1. КОЛЬЦЕВЫЕ И ПЕТЛЕВЫЕ СЕТИ

Потенциально легче управлять локальными сетями, имеющими вид колец или петель, где информация следует по кругу в одном направлении, чем сетями с шиной. Поэтому сначала рассматриваются кольцевые сети. Информация и управляющие потоки данных обычно движутся по кольцу от одной точки доступа, или станции, к другой. Получив дошедший до нее пакет данных, каждая станция может: прочитать этот пакет, уничтожить его, передать его дальше, изменить его содержимое либо, наконец, добавить к нему свой собственный пакет. Такой явный способ передачи управления от станции к станции облегчает разработку методов защиты от ошибочных действий пользователя в процессе эксплуатации.

Петлей управлять даже легче, чем кольцом, так как контроллер петли осуществляет непосредственное управление потоком данных пользователей и управляющей информации. Поскольку для локальных сетей, разрабатываемых для соединения друг с другом нескольких независимых устройств, петля имеет ограниченное значение, то методы доступа, относящиеся к петлям, будут обсуждены очень кратко.

Кольцевую сеть можно рассматривать как сочетание одного большого распределенного мультиплексора с системой передачи данных. Методы доступа к кольцу гарантируют, что время работы сети разделено между всеми пользователями.

Доступ к кольцам и петлям обычно осуществляется через повторитель, который принимает пакет данных, дошедший до него от предшествующего повторителя, делает пакет доступным для того устройства, которое подсоединено к повторителю, разрешает устройству передать собственную информацию и, наконец, отправляет пакет сле-

дующему повторителю. Повторители обычно конструируются так, чтобы скорость выполняемых ими операций была как можно больше и чтобы они не задерживали процесс передачи данных.

В обзоре [5.3] приводится описание многих известных методов доступа к кольцу.

Методы доступа в петлевой сети. Петлевые сети, как правило, являются короткими и обслуживают незначительное число терминалов. Они представляют собой развитие традиционных систем с разделяемой многоточечной линией и поэтому функционируют похожим образом.

Основной принцип работы петлевой сети заключается в том, что контроллер опрашивает индивидуально каждое устройство. Если опрашиваемое устройство имеет пакет данных, который нужно отправить, оно выполняет передачу. Контроллер получает этот пакет и в случае необходимости отправляет его в другую часть сети. Если контроллер отправляет пакет устройству, включенному в петлю, то он указывает адрес этого устройства; все другие устройства игнорируют данный пакет.

Другим способом использования петлевой сети, который больше подходит для устройств, передающих данные не регулярно, является посылка контроллером пустого пакета-контейнера. Любое устройство, имеющее данные, которые нужно отправить, помещает их в этот пустой пакет-контейнер. Если пакет-контейнер оказывается заполненным, он становится недоступным для всех остальных пользователей сети. Использование данного метода может приводить к тому, что одно устройство, интенсивно передающее данные, блокирует устройства, которые находятся дальше его на петле.

Методы использования петлевых сетей особенно удобны в условиях небольшого числа редко и мало используемых устройств, расположенных на небольшом участке неподалеку друг от друга. Реализации сетей могут иметь такую конфигурацию, при которой данные передаются в любом из возможных направлений, хотя в каждый момент поток данных должен иметь только одно направление. Если петля вдруг окажется разорванной, то две образовавшиеся части ее смогут действовать независимо, если, конечно, контроллер по-прежнему может управлять ими.

Вставка регистра или буфера. Метод вставки регистра или буфера[1] применяется в кольцевых сетях. Принцип его

[1] Данный метод доступа часто называют методом введения задержки. — *Прим. перев.*

работы состоит в следующем. Когда некоторое устройство имеет информацию, которую нужно отправить, оно помещает ее в сдвиговый регистр. Этот регистр может быть последовательно включен (вставлен) в канал. Тогда данные с одного конца будут поступать в регистр, продвигаясь через него, и выходить на противоположном конце регистра, как это показано на рис. 5.5,*а*,*б*.

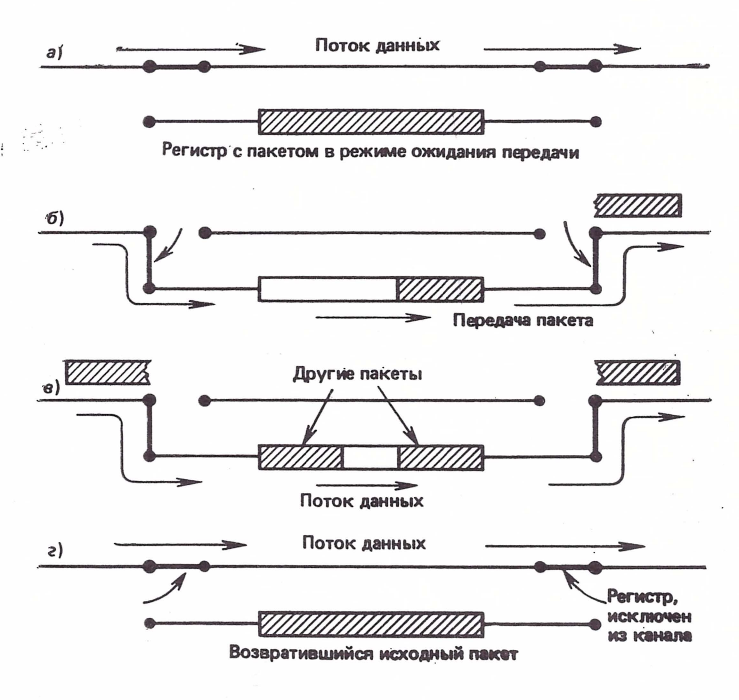


Рис. 5.5. Идеализированная вставка регистра

Регистр подключается последовательно с остальной частью кольца, если образуется удобный для этого промежуток между другими пакетами, циркулирующими по кольцу. Регистр остается включенным в кольцо, и все пакеты продвигаются через него (рис. 5.5,*в*). Когда пакет, который был первоначально передан данным устройством, возвращается к нему и полностью загружается в регистр (рис. 5.5,*г*), последний исключается из кольца. Принцип работы регистра достаточно прост, однако на практике реализовать этот метод сложно, поскольку требуется адекватная скорость, с которой регистр включается в кольцо и исключается из него. Устройство, которое

является получателем пакета, должно прочитать данные и выставить флаг, что данные приняты.

Более реальная схема вставки регистра изображена на рис. 5.6. В этом варианте используются два регистра:

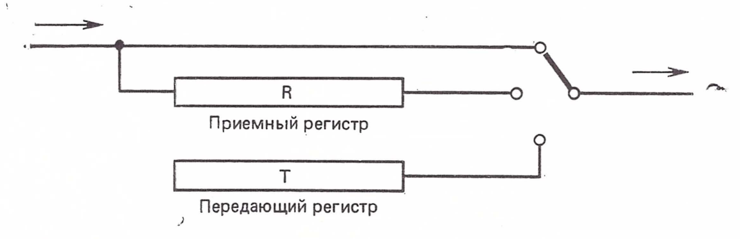


Рис. 5.6. Практическая схема вставки регистра

один — для передачи, а другой — для приема. Если устройство имеет пакет данных, предназначенный для передачи, оно помещает этот пакет в регистр T. Как только появляется удобный промежуток между двумя следующими по кольцу друг за другом пакетами, переключатель подключает регистр T и его содержимое передается в кольцо. Поскольку поток данных, идущий от предшествующего устройства, не может быть остановлен, то эти данные заносятся в сдвиговый регистр R. Как только регистр T окажется опустошенным, переключатель перебрасывается на регистр R, а само устройство ожидает возвращения только что переданного пакета. Возможно, что этот пакет вернется и будет помещен в сдвиговый регистр R, который после этого выключается из кольца.

В описанных схемах пакет совершает полный цикл по кольцу, прежде чем он будет выведен из него. На рис. 5.7 показана схема, в которой применено иное решение: пакет удаляется из кольца устройством, для которого он предназначен. Осуществить это с помощью схем, показанных на рис. 5.5 и 5.6, трудно, поскольку здесь передающее устройство имеет регистр, вставленный последовательно в кольцо, и для его исключения необходимо, чтобы посланный им пакет вернулся назад. В системе, изображенной на рис. 5.7, используются три регистра, два переключателя и один генератор, вырабатывающий «холостые» символы, которые не несут никакой информации. Система работает следующим образом.

Обычно в кольцо последовательно включается буфер с задержкой. Этот буфер оснащен подвижным указателем. В начале рабочего цикла буфер пуст, и указатель находится в крайнем левом положении (на нулевой отметке).

Данные, циркулирующие по кольцу, минуют этот буфер. Когда устройство имеет пакет данных для передачи, оно загружает этот пакет в передающий регистр. При появлении промежутка между проходящими по кольцу пакетами переключатель В перебрасывается на передающий регистр, после чего его содержимое передается по кольцу.

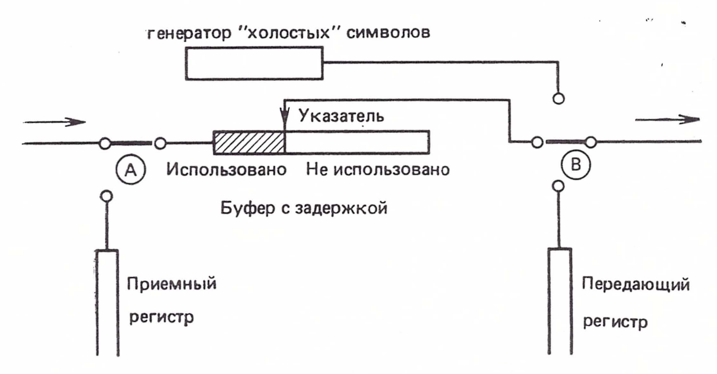


Рис. 5.7. Альтернативная практическая схема вставки регистра

В этот момент поступающие на вход данные заносятся в буфер с задержкой (представляющий сдвиговый регистр), а указатель следует до отметки конца данных. Если данные представляют собой «холостые» символы, не несущие информации, то они в буфере не хранятся, а указатель опять сдвигается к нулевой отметке. Когда передающий регистр пуст, переключатель В перебрасывается на буфер с задержкой, а указатель прекращает перемещение.

Устройство, которому предназначается информация, распознает пакет по заголовку и перебрасывает переключатель А на приемный регистр. Поступающие на вход данные считываются в этот регистр, а в конце пакета переключатель А опять подключается ко входу буфера с задержкой. В течение времени, пока пакет считывается в приемный регистр, кольцо продолжает работать за счет буфера с задержкой и/или генератора «холостых» символов, который продолжает посылать эти символы.

Пока указатель в буфере находится на нулевой отметке, через переключатель В проходят «холостые» символы генератора.

Если ранее переданный устройством пакет возвратится, то это означает, что пакет по какой-то причине не был прочитан устройством-получателем. Если пакет удален из кольца, значит устройство, для которого он предназна-

чен, считало его в приемный буфер. Для обработки пакетов, в которых при передаче могут возникнуть ошибки, обычно необходимы дополнительные, более высокие уровни протоколов.

Метод тактируемого доступа. Работа кольца с тактируемым доступом не требует использования сдвиговых регистров и высокоскоростных переключателей в повторителях или подключаемых к кольцу устройствах. Один или несколько контейнерных пакетов, или тактов, непрерывно циркулируют по кольцу. Их число никогда не меняется и определяется длиной такта, общей длиной кольца и процедурой начального запуска кольца. Если кольцо очень короткое, то короткими должны быть и используемые такты, а их число должно быть невелико, иначе придется вставить в кольцо буфер с задержкой, так как начало такта может возвратиться к отправителю раньше, чем тот завершит передачу конца данного пакета. По этой причине во многих практических реализациях кольцевых сетей с тактируемым доступом применяются только один короткий такт и буфер с задержкой.

В момент запуска кольца один из повторителей или устройств формирует такт и отправляет его по кольцу. Если он вернется к отправителю, то это будет означать, что кольцо замкнуто, и можно начать работу.

Если у устройства есть информация, которую нужно передать, то оно загружает эту информацию в буфер или регистр и ожидает, когда предшествующий повторитель направит к нему пустой такт. Пустой такт легко опознается по контрольному полю в его заголовке. Устройство или повторитель не пытается сохранить такт (это привело бы к сильному замедлению передачи информации вдоль кольца), а сдвигает пакет данных из своего буфера в поля данных такта по мере прохождения такта через повторитель. При этом флаг, указывающий состояние такта, сначала переводится в значение «занято» и в заголовок помещается адрес того устройства, которому предназначен пакет. Такт затем продолжает передаваться вдоль кольца, как это показано на рис. 5.8, до тех пор, пока он не достигнет устройства-получателя, повторитель которого считывает информацию, содержащуюся в такте, в свой буфер, но не стирает ее из такта. (Стирание информации не происходит потому, что флаг состояния «пусто/занято» находится в заголовке такта и уже проходит мимо повторителя к моменту, когда последний приступит к чтению адресного поля.) Помимо этого, возможно другое техническое решение, при котором устройство, получившее отправленный ему

пакет, выставляет в конце такта флаг, означающий, что пакет получен.

Такт (флаг которого продолжает указывать на состояние «занято») затем следует от повторителя к повторителю, пока не достигнет устройства-отправителя. Устройство-

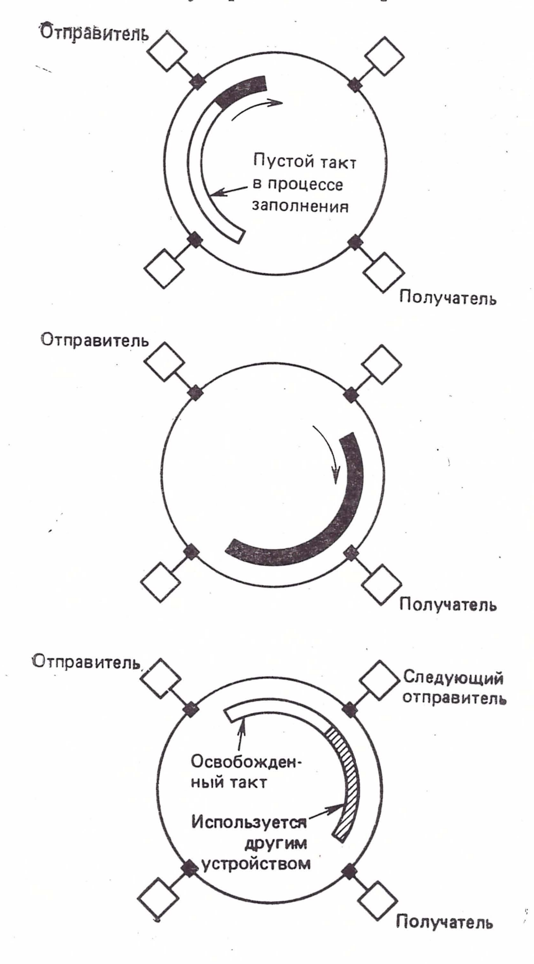


Рис. 5.8. Кольцо с тактированным доступом

отправитель, подсчитав число тактов в кольце, опознает отправленный им пакет и переводит флаг такта в состояние «пусто», позволяя тем самым какому-то другому устройству использовать этот такт. Если в такте имеется поле

подтверждения, то устройство-отправитель проверяет его содержимое, чтобы убедиться в том, что устройство-получатель действительно получило отправленный ему пакет.

В одной из разновидностей данного метода устройству-отправителю не требуется помечать такт флагом «пусто», если то же устройство хочет еще раз воспользоваться этим тактом. Это, однако, может привести к тому, что какое-то из устройств будет удерживать такт у себя столько времени, сколько оно захочет. В тех кольцах, в которых используется всего один такт, подобное положение является, очевидно, несправедливым. Поэтому в большинстве реализаций такт освобождается после каждого совершенного им оборота по кольцу. В этом случае сохраняется возможность поочередного использования такта при передаче его от устройства к устройству.

Если устройство-получатель отключено и не смогло считать пакет или же обнаружило ошибку в такте, об этом отправителю сообщается с помощью соответствующего флага в поле подтверждения. Тогда отправитель сможет еще раз передать тот же пакет, поместив его в следующем свободном такте. Таким образом, несмотря на явные потери времени из-за того, что заполненный такт вынужден совершать полный оборот, он используется как для передачи данных на прямом пути к получателю, так и для подтверждения доставки на обратном пути.

Если использующийся такт не был освобожден устройством-отправителем (например, из-за сбоя в этом устройстве после передачи), то такт с меткой «занято» будет циркулировать по кольцу. На практике одному из устройств или повторителей дается право освобождать такты, проходящие мимо данного устройства в неизменном состоянии более одного раза. Эта задача обычно возлагается на специальное устройство, которое также отвечает за запуск сети в работу и следит за ошибками.

Передача маркера. При применении метода тактированного доступа управление кольцом оказывается неявно связанным с пустым тактом. Альтернативным решением является доступ с передачей маркера[1], при котором используется специальная последовательность символов — маркер, которая передается по кольцу. Если у устройства имеются данные, подлежащие передаче, оно вынуждено ждать, пока предшествующее устройство не вышлет ему маркер (рис. 5.9).

---

[1] Этот метод часто называют передачей права. — *Прим. перев.*

Когда устройство получает маркер, оно на время удаляет его из кольца и помещает вслед за пакетом данных, сохраняемым в сдвиговом регистре для передачи. Затем передающий сдвиговый регистр последовательно включается в кольцо, а его содержимое, включая маркер в кон-

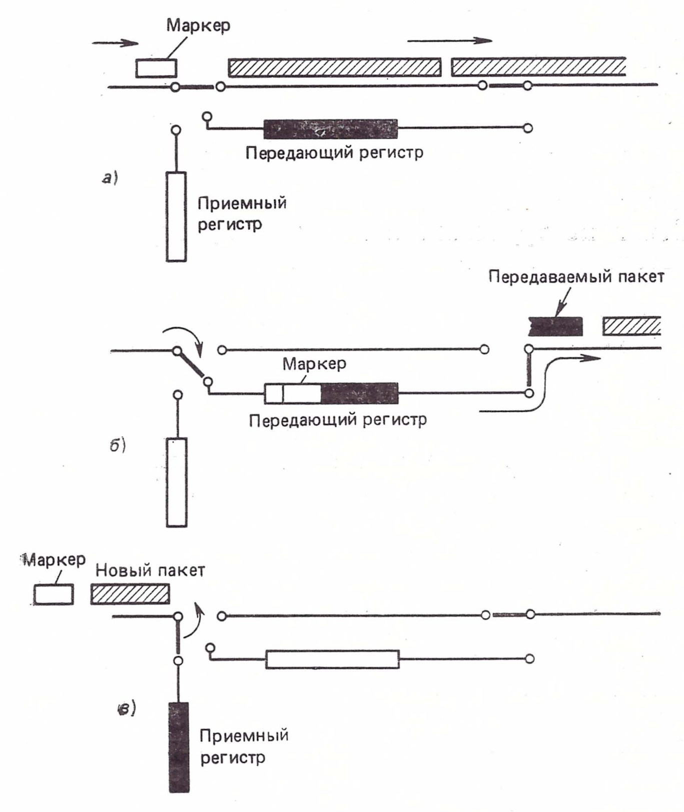


Рис. 5.9. Кольцо с передачей маркера:
а — ожидание маркера; *б* — передача пакета; *в* — удаление пакета

це пакета, посылается по кольцу. Далее регистр исключается из кольца, а устройство ожидает возвращения отправленного им пакета. Первый же пакет, полученный на приемной стороне, должен при нормальных условиях быть этим пакетом. Поэтому первый же полученный пакет считывается в приемный регистр для анализа. После этого восстанавливается обычная цепь кольца, что напоминает метод со вставкой регистра. Устройство переходит в со-

стояние ожидания следующего маркера, если у него еще есть информация, которую необходимо передать.

Таким образом, поступающий в некоторое устройство поток информации всегда начинается пакетом, отправленным данным устройством. Каждый отправитель ответствен за удаление своих пакетов из кольца. Каждый передаваемый пакет всегда становится последним в последовательности пакетов, предшествующих маркеру. В этой схеме не требуется отводить входящий поток в буфер с задержкой, когда необходимо передать какой-то пакет.

Устройство-получатель обычно работает аналогично повторителю при тактируемом доступе. Оно читает пакет по мере его прохождения и может выставить флаг подтверждения в его конце, не изменяя при этом сам пакет.

Основные трудности в кольце с курсирующим маркером возникают, если маркер теряется или отправитель не стирает свой пакет. Первая ситуация может возникнуть в том случае, когда маркер удален каким-то устройством, передающим информацию, а затем не восстановлен по причине аппаратного сбоя или когда маркер поврежден при передаче и стал нераспознаваем. Пакет может оказаться неудаленным потому, что произошла ошибка в устройстве-отправителе и поток поступающей информации не был отведен в приемный буфер. С обеими ситуациями удается с успехом справиться с помощью специального следящего устройства, которое распознает отсутствие маркера в конце потока данных, или факт циркулирования какого-то пакета по кольцу. В первом случае генерируется новый маркер, во втором — стирается пакет.

При отсутствии специального устройства, следящего за работой кольца, с проблемой потери маркера легко справиться, позволив какому-то устройству или повторителю вырабатывать новый маркер, если в течение некоторого произвольного отрезка времени это устройство не приняло такой маркер.

Возможно дублирование маркера, если какие-то два устройства генерируют новые маркеры одновременно. Тем не менее, этого можно избежать, если каждое из устройств, генерирующих маркер, всегда помещает перед ними полный пакет и следит за тем, чтобы он вернулся первым. Каждый появляющийся на входе пакет проверяется и сбрасывается, если он отличается от переданного пакета. Если две станции делают это одновременно, то они уничтожают маркеры и пакеты друг друга. После произвольного временного интервала в какой-то точке кольца снова генерируется маркер. Если каждое из устройств, уже пе-

редавших пакет, всегда уничтожает первые пакеты, поступившие к нему из кольца, пока не дойдет до своего пакета, то тем самым решается и проблема неудаленных пакетов.

Метод передачи маркера очень эффективен и не требует столь сложного следящего устройства, как для тактированного доступа. Тем не менее, для реализации переключения регистров и управления маркером он требует значительно более сложных повторителей и программного обеспечения для каждого из устройств.

5.2.2. СЕТИ С ШИРОКОВЕЩАТЕЛЬНОЙ ШИНОЙ

В широковещательной сети посылаемое сообщение (или пакет, содержащий часть его) может быть получено более или менее одновременно во всех точках сети. После прекращения передачи сигнал очень быстро затухает. Сущность широковещательного принципа заключается в том, что все пользователи способны принимать все передачи, независимо от того, направлены ли они кому-либо из них или ко всем сразу. Таким образом, должен быть разработан метод разделения шины между множеством пользователей. Однако трудно разработать справедливый метод разделения шины.

Имеется один способ, позволяющий обойти эту трудность, и заключается он в выделении каждому из устройств временны́х тактов. Это обычный метод временно́го уплотнения, который подробно описывался выше. Однако он считается малоэффективным для локальных сетей и редко встречается на практике.

Технические решения, которые чаще всего применяются, состоят в адаптации рассмотренных методов статистического временно́го уплотнения, но управление доступом к ширине распределяется между всеми узлами сети. Пользователи, у которых есть данные для передачи, передают их всегда, когда это оказывается возможным. Основная трудность возникает тогда, когда несколько пользователей начинают передачу в одно и то же время. Для предотвращения подобных конфликтов разработано много способов. Все они заставляют каждое из устройств, подключенных к сети, подчиняться правилам, установленным проектировщиком. При попытке двух и более устройств начать передачу в одно и то же время возникает конфликтная ситуация. Каждое из устройств конкурирует с другими за право пользоваться сетью.

Если два пакета информации будут переданы одновременно, то в результате будет уничтожена или искажена информация, содержащаяся в каждом из конфликтующих пакетов. Для успешной работы такой сети, очевидно, требуются специальные методы обнаружения конфликтов и искаженных пакетов. Обнаружив потерю или искажение пакета или будучи поставлены в известность о конфликте, соответствующие устройства должны будут вновь передать свои пакеты. Планирование повторной передачи осуществляется таким образом, чтобы не повторился конфликт с тем пакетом, который уже участвовал в первом конфликте.

Поскольку широковещательная сеть доступна любому обладателю необходимого для передачи и приема оборудования, то требуется схема адресации, которая помогала бы каждому из устройств опознавать информацию, направленную именно ему. Для реализации удобной схемы адресации, а также для обеспечения справедливого использования сети и проверки искаженной или ошибочной информации данные всегда размещаются в пакетах, размер которых либо постоянен, либо, что чаще, изменяется. Адрес получателя включается в заголовок пакета, так что устройство-получатель может считать пакет в свою внутреннюю память для последующей обработки. Другие устройства сети могут игнорировать этот пакет. В заголовке обычно содержится и адрес устройства-отправителя, так как иначе получатель не сможет определить, откуда пришел пакет, разве что в сети имеется всего один передатчик.

Эти принципы передачи являются общими для всех сетей с широковещательной шиной. Перейдем теперь к описанию различных методов доступа, начиная с методов, разработанных для охватывающей обширную территорию сети ALOHA.

Простая ALOHA. Сеть ALOHA, по имени которой был назван данный метод доступа, представляет собой радиовещательную сеть, расположенную на Гавайских островах. Сеть начала работать в 1970 г. Она не является локальной сетью или сетью на основе кабельной шины. Может вызвать удивление, что она рассматривается в книге, посвященной только локальным сетям. Однако сеть ALOHA для пересылки информации использует пакеты и позволяет всем пользователям разделять между собой один и тот же канал.

Целью сети ALOHA было установление связи между центральной вычислительной системой, принадлежащей

Гавайскому университету в Гонолулу, и терминалами, расположенными на всех островах архипелага. Были выделены два радиочастотных канала: один отводится под передачу сообщений от ЭВМ к терминалу, второй — от терминалов к ЭВМ. В первом имеется всего одно передающее устройство и никаких трудностей преодолевать не приходится. Однако второй канал используется всеми терминалами, что в точности соответствует ситуации в локальных сетях с широковещательной шиной.

Для разделения между терминалами канала, связывавшего их с вычислительным центром, был разработан метод, известный сейчас как *«Простая ALOHA»*. Согласно этому методу каждый из терминалов может лишь прослушивать канал ЭВМ — терминал и не может узнать, занимает ли другой терминал в данный момент канал терминал — ЭВМ.

Итак, если у некоторого терминала имеется пакет, готовый к отправке, терминал передает этот пакет, не обращая внимания на то, занят канал в данный момент или нет. По завершении передачи пакета терминал запускает внутренний таймер, определяющий, был ли пакет испорчен при передаче. Если после истечения определенного времени терминал не получил подтверждения о приеме пакета от центральной ЭВМ, то он приступает к повторной передаче того же пакета, вновь запуская таймер. Для уменьшения вероятности повторного конфликта между теми же пакетами временной интервал, через который терминал повторит передачу пакета, задается случайным образом.

Приемник на центральной ЭВМ будет принимать как нормальные, так и конфликтующие пакеты. Каждый пакет проверяется на наличие ошибок. Если в пакете ошибок не обнаружено, то по каналу ЭВМ — терминал посылается подтверждение, для которого конфликтная ситуация исключена. Если конфликтуют два или больше пакетов, то полученную информацию разобрать будет невозможно, поэтому подтверждение не будет послано.

Обычная ситуация для канала терминал — ЭВМ показана на рис. 5.10. Здесь происходит конфликт двух пакетов.

Хотя длительность временно́го промежутка, в течение которого происходит наложение пакетов, очень мала, оба пакета искажаются и их приходится передавать заново. Суммарная продолжительность потерянного при передаче времени исчисляется от начала передачи первого пакета до завершения передачи второго. Здесь продемонстриро-

вана основная проблема, присущая методу «Простая ALOHA»: плохое использование канала при большой нагрузке.

Тактированная ALOHA. Улучшение метода «Простая ALOHA» заключается в установлении некоторых ограни-

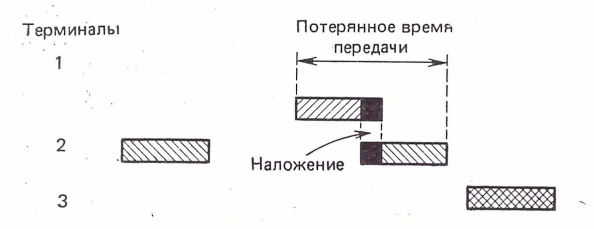


Рис. 5.10. Использование канала терминал — ЭВМ в сети ALOHA

чений на временные интервалы, в течение которых терминалу разрешается передавать информацию, с целью сокращения суммарных потерь времени из-за столкновения пакетов. Никаких других изменений в метод доступа к сети вносить не нужно, а передатчик, как и прежде, не должен прослушивать канал, по которому он передает информацию.

Весь рабочий интервал времени разбивается центральной ЭВМ на временные такты равной длительности. Любому терминалу разрешается начинать передачу лишь в начале каждого такта. Таким образом, возникает ситуация, подобная изображенной на рис. 5.11. Когда два тер-

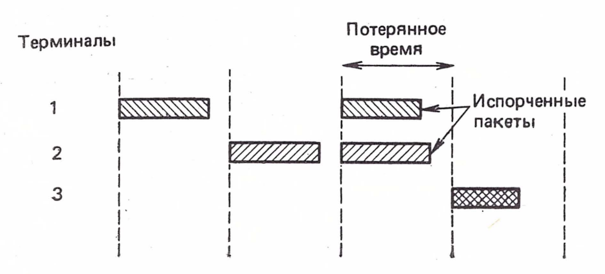


Рис. 5.11. Использование канала при методе «Тактированная ALOHA»

минала решают начать передачу в один и тот же момент, они передают свои пакеты целиком, но делают это синхронно и поэтому потери времени не превышают длительности такта, как показано на рисунке.

В этом случае резко сокращаются суммарные потери времени в сети, а эффективность системы (36,8%)[1] здесь вдвое выше, чем при методе «Простая ALOHA»

Хотя оба метода — «Простая ALOHA» и «Тактированная ALOHA» — создавались для радиоканалов, они могут применяться в простых локальных сетях с широковещательной шиной. Однако, учитывая сравнительно низкую эффективность обоих медотов доступа в сети ALOHA, были разработаны новые методы, которые требуют значительно большей оснащенности («интеллектуальности») всех подключенных к сети устройств, или специальных интерфейсных устройств, через которые простейшие терминалы подключаются к сети.

Множественный доступ с контролем несущей (Carrier-sense Multiple Access — CSMA). Одним из путей повышения общей эффективности методов «Простая ALOHA» и «Тактированная ALOHA» является реализация отказа от передачи пакета, если какой-то другой пользователь уже передает свой пакет. Для этого необходимо, чтобы устройство «прослушивало» канал до того, как оно приступит к передаче. Если канал уже занят, данное устройство ожидает завершения текущей передачи, а затем начинает передачу собственного пакета. Между тем, сигналу требуется конечное время для того, чтобы достичь крайних точек сети, поэтому может случиться так, что два или более устройств начнут передачу в одно и то же время. Сигнал от каждого из устройств не успевает достигнуть других устройств, они также начинают передачу. В этом случае все передаваемые пакеты искажаются, как это показано на рис. 5.12.

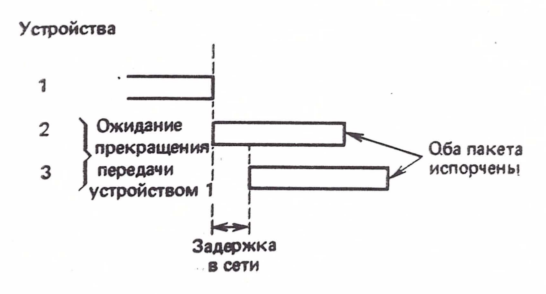


Рис. 5.12. Метод доступа CSMA

---

[1] Имеется в виду полезная загрузка канала передачей неконфликтующих пакетов. — *Прим. перев.*

В простейшей версии данного метода устройство-отправитель перестает следить за передающей средой сразу же после того, как приступило к передаче собственного пакета. Таким образом, хотя пакеты и искажаются, они по-прежнему передаются целиком до конца. В этом случае положительного подтверждения о приеме пакетов не будет, так что по истечении некоторого времени (тайм-аута) устройства-отправители считают, что отправленные пакеты повреждены, и пытаются вновь передать те же пакеты. Для того чтобы предохранить те же пакеты от повторного конфликта, в большинстве практических реализаций попытке повторить передачу предшествует ожидание в течение случайного интервала времени.

При *ненастойчивом* CSMA методе устройство, ожидающее прекращения текущей передачи, совершает попытку передать имеющийся у него пакет не обязательно сразу после освобождения сети. Если устройство пытается осуществить передачу при первой же возможности с вероятностью p, то этот метод доступа называется *р-настойчивым* CSMA. Если при p-настойчивом CSMA методе n устройств ожидают возможности передать информацию, то как только канал освободится, np устройств сделают попытку передать информацию. При $p=1$ каждое из устройств, ожидающих возможности начать передачу, приступит к передаче сразу после освобождения канала. Если таких устройств два или более, то все следующие передачи пакетов будут приводить к конфликтам. Чаще всего подобное положение возникает при перегрузке сети. Для уменьшения количества теряемых данных значение p выбирается меньше 1. Увеличение p приводит к уменьшению времени, в течение которого канал будет свободен, тогда как уменьшение p снижает количество возможных конфликтов. Выбор оптимального значения p зависит от многих факторов: от времени, требующегося для передачи информации в удаленные участки сети; от длины пакета; от числа пользователей, ждущих возможности передать пакеты и т. п. Обсуждение подобных проблем можно найти в работе [5.4].

Иной способ планирования передач с использованием метода CSMA состоит в выделении временны́х тактов и в предоставлении устройствам права на передачу только в моменты, совпадающие с началом тактов. Это аналогично методу «Тактированная ALOHA».

Как практические методы для локальных сетей «Тактированная ALOHA» и p-настойчивый CSMA не выдерживают сравнения с методом множественного доступа с кон-

тролем несущей и с *обнаружением конфликтов* пакетов, который рассматривается далее.

Множественный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов между пакетами (Carrier-sense Multiple Access with Collision Detection — CSMA/CD). Обе разновидности метода ALOHA и обычный метод CSMA не являются эффективными, поскольку пакет полностью передается даже тогда, когда он конфликтует с другим пакетом. В сетях, где расстояния между устройствами ограничены, время, требующееся на распространение сигнала по всем участкам сети, невелико по сравнению с временем, которое занимает передача пакета. Таким образом, период, в течение которого канал кажется свободным, хотя одно из устройств передает информацию, очень короток. В течение этого времени, известного как *окно конфликтов*, может быть передано два или более пакета, которые, в конечном счете, столкнутся друг с другом и будут испорчены.

Значительное усовершенствование может быть достигнуто посредством введения «прослушивания» сети как до начала передачи *(контроль несущей)*, так и во время передачи информации (*обнаружение конфликтов*). Если какое-то другое устройство начинает передавать пакет, сигнал, воспринимаемый ведущим в настоящий момент передачу устройством, не будет соответствовать передаваемой им информации. Устройства будут принимать неразборчивую смесь сигналов. Когда каждый отправитель замечает, что его пакет конфликтует с другим пакетом, то он сразу же прекращает передачу, чтобы не тратить бесполезно время канала. Так как «окно конфликтов» для сетей, располагающихся на сравнительно небольших участках, мало (типичный случай для локальных сетей), то потерянное время оказывается небольшим по сравнению с длительностью передачи типичного пакета (рис. 5.13).

Если происходит конфликт пакетов, то соответствующие устройства прекращают передачу и пробуют передать пакеты снова спустя некоторое время. Для того чтобы предупредить возможность повторного конфликта между теми же пакетами, время до момента повторной попытки передать пакет задается случайным образом. Может случиться так, что пакет, передаваемый повторно, вновь будет конфликтовать с другим пакетом, но посланным уже не тем устройством, конфликт с пакетом которого произошел в первый раз. В этом случае происходит та же процедура, но время ожидания момента повторной попытки передачи пакета возрастает. Если после определенного чи-

сла повторных попыток передачу все же осуществить не удается, устройство-отправитель прекращает попытки и сообщает своему пользователю о возможности какой-то ошибки. По мере роста нагрузки на сеть интенсивность передач от отдельных устройств падает.

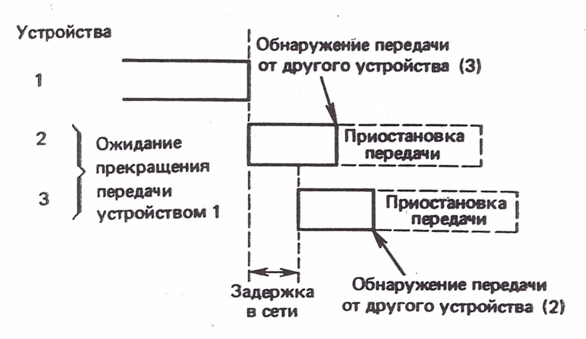


Рис. 5.13. Метод доступа CSMA/CD

Метод CSMA/CD на практике очень эффективен. При нем используется более 90% доступной пропускной способности канала по сравнению с 83% при оптимальном варианте стандартного метода CSMA. В результате метод CSMA/CD выбран в качестве основы для многих практических разработок локальных сетей.

В методе CSMA/CD не требуется специальных подтверждений приема отдельных пакетов для информирования отправителя о том, что посланный пакет не был искажен при передаче. Ясно, что это может вызвать трудности в том случае, если устройство-получатель не в состоянии принять пакет. Метод CSMA/CD требует реализации в оконечных устройствах более высоких уровней протоколов, обеспечивающих передачу подтверждений.

Маркерный доступ. Еще одним способом использования широковещательной шины в локальных сетях является ее резервирование на период, в течение которого происходит передача данных только от одного устройства. Это можно сделать с помощью стандартного мультиплексора с временны́м разделением, но такое решение малоэффективно.

Лучше применить метод передачи маркера, когда по сети от устройства к устройству передается маркер — специальный пакет с легко распознаваемой последовательностью бит. Сам маркер не несет никакой информации, он служит для выдачи устройствам разрешений на передачу

пакетов. В каждый момент в сети может существовать только один маркер.

Принцип работы данного метода состоит в следующем (рис. 5.14). Прежде всего, маркер создается специальным устройством, либо одним из подсоединенных устройств.

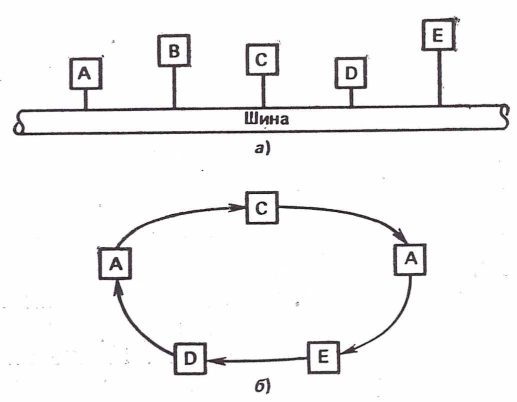


Рис. 5.14. Метод маркерного доступа к шинной сети:
а — структурная схема шинной сети; *б* — порядок, в котором устройства получают маркер

Появившись в сети, маркер посылается от устройства в заранее установленном порядке (от А к Е, от Е к D и т. д.). Если какое-то из устройств готово передать информацию, оно дожидается прихода маркера от предшествующего устройства. Прежде чем отправить маркер следующему устройству, данное устройство сначала передает свой пакет, например, от А к D. Устройство-получатель D прочтет пакет обычным образом. Отправитель посылает затем маркер, в адресном поле которого записан адрес следующего по порядку устройства (Е). Благодаря этому никакие два устройства не начнут передачу в одно и то же время и, значит, ни один пакет не будет испорчен вследствие столкновения с другим пакетом. Одно и то же устройство может входить в завершенную упорядоченную последовательность устройств, получающих маркер более одного раза (так, устройство А получает доступ в сеть, изображенную на рис. 5.14, дважды).

Следует указать две проблемы, возникающие при реализации этого метода. Первая касается самого маркера. Если он посылается какому-то одному устройству и это устройство не может его прочесть, возможно, из-за того, что оно не работает, маркер пропадает из сети. Ни одно устройство не сможет передавать информацию до тех пор,

пока оно не получит маркер. Поэтому должна быть разработана некоторая процедура, которая гарантировала бы генерацию маркера спустя какой-то промежуток времени, в течение которого не был передан ни один пакет. Маркер может генерироваться одним устройством, специально предназначенным для этого, или любым устройством сети. В последней ситуации нельзя исключить возможность одновременного появления в сети более одного маркера. Для уничтожения дубликата маркера необходимо разработать некоторую процедуру. Чтобы минимизировать вероятность появления дубликатов, временно́й интервал генерации маркера, отсчитываемый с момента последней передачи, выбирается для каждого из узлов сети случайным образом.

Вторая проблема сопряжена с добавлением новых устройств к сети и удалением каких-то устройств из нее. Если выключается одно из устройств, входящих в логическую последовательность передачи маркера, то маркер не должен посылаться этому устройству. Иначе он окажется потерянным. Такое устройство следует исключить из логической последовательности. Если какое-то устройство, которое не было включено в логическую последовательность передачи маркера, должно передать информацию, необходимо, чтобы некоторое другое устройство послало ему маркер. Исключение устройств из логической последовательности — простая процедура. Для этого достаточно послать предыдущему в последовательности устройству сообщение, которое изменит адрес получателя маркера. При добавлении в сеть нового устройства требуется, чтобы оно передало широковещательное сообщение, запрашивающее посылку маркера в его адрес.

Вместе с маркером ему должен быть передан адрес следующего устройства в логической последовательности.

Основной принцип метода маркерного доступа несложен в реализации, но из-за возможности потери маркера, добавления и удаления устройств он значительно усложняется. Реализацию можно упростить, если возложить на одно из устройств функции сетевого контроллера.

Шинная структура сети позволяет всем устройствам слышать все передачи информации. Поэтому можно реализовать такую схему передачи маркера, в которой некоторым устройствам может быть послана информация, но сами они лишены права на передачу (устройство В, рис. 5.14). Это осуществляется исключением таких устройств из логической последовательности передачи маркера.

Для маркера не нужен отдельный пакет. Он может содержаться в специальном поле (как правило, в концеви-

ке) обычного информационного пакета. Устройство-получатель будет считывать предназначенную ему информацию, но все другие устройства сети могут контролировать передачу пакета. Устройство, которому адресован маркер, распознает его в концевике информационного пакета.

5.3. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОТОКОЛАМ

В гл. 4 были изложены некоторые основные требования к передаче данных и обсуждены вопросы развития протоколов управления каналами передачи данных. Эти протоколы необходимы для любой реальной сети. Большинство из них было разработано для традиционных вычислительных систем и расчитано на двухточечные соединения терминалов с ЭВМ, периферийных устройств с их контроллерами, а затем — для связи ЭВМ между собой. Некоторые протоколы специально разработаны для многоточечных каналов или петлевых каналов с опросом, которые под управлением специального устройства разделяются между группой терминальных устройств.

Общей особенностью всех этих систем является то, что отправитель данных известен. Это упрощает проектирование протоколов каналов передачи данных и протоколов более высоких уровней. При двухточечном соединении ЭВМ, находящейся на одном конце канала, известно, какой именно терминал подключен к противоположному концу. Поэтому ЭВМ может сделать предположения относительно характеристик терминала: скорости передачи данных; «интеллектуальности»; формата строк и страниц (или экрана), требуемого характера управления и т. д. В канале с опросом контроллеру известно, какое устройство послало данные, потому что именно контроллер выдает разрешение на передачу.

Локальные сети строятся и работают совершенно по-другому. Одна из их особенностей, которая оказывает влияние на требования к протоколам, заключается в разделении общих ресурсов передачи данных между некоторым числом независящих друг от друга устройств, причем для обмена информацией не требуется никакого предварительного соглашения. Информационные пакеты могут передаваться в сеть и восприниматься всеми устройствами. Протокол уровня канала передачи данных должен иметь свои особенности. Например, необходимо использовать оба адреса — и отправителя, и получателя, чтобы сеть (или устройства, подключенные к ней) могли направлять

сообщения по верному маршруту и чтобы устройство-получатель знало, откуда пришло сообщение.

Наиболее удобным способом описания протоколов является *Эталонная модель соединений открытых систем*, которая разрабатывается Международной организацией по стандартизации с 1977 г.

Тема архитектуры соединений открытых систем слишком широка для рамок настоящей книги. Причины, по которым эта архитектура стала разрабатываться, а также способы ее применения подробно излагаются в работе [5.5]. Описание и определения Эталонной модели содержатся в официальном документе, опубликованном Международной организацией по стандартизации [5.6].

Эталонная модель (рис. 5.15) служит основой для разработки всего множества стандартных протоколов для взаимодействия ЭВМ и другого вычислительного оборудования. Модель состоит из семи уровней, каждый из которых для обеспечения определенного обслуживания использует уровни, расположенные ниже, а также предоставляет более полный набор услуг тем уровням, которые находятся выше.

Работа по организации соединений открытых систем началась, когда пользователи заметили, что трудно реализовать все потенциальные возможности сетей передачи данных и систем с коммутацией пакетов общего пользования, если каждое из устройств сети требует своего конкретного набора протоколов, определенного его изготовителем. Традиционные вычислительные системы были всегда *замкнутыми*, иначе говоря, устройства входящие в такие системы, подчинялись правилам, составленным изготовителем или проектировщиком системы. Все протоколы, использовавшиеся терминалами, определялись характеристиками ЭВМ, либо контроллера, управляющего каналами связи. Терминал, изготовленный на предприятии другой фирмы, или даже оборудование той же фирмы, но принадлежащее к иной производственной серии, не поддавались стыковке с готовой системой без предварительной доработки или эмуляции данной системы. Пока количество различных устройств было невелико и все они находились под строгим контролем какой-то одной группы изготовителей, с таким положением можно было мириться.

Однако развитие вычислительной техники привело к тому, что появилось огромное количество вычислительных устройств, которые разрабатывались для использования в сетях. Ассортимент доступных теперь устройств настолько разнообразен, что построение «закрытой» сети неосущест-

Уровни	Оконечная система	Протоколы уровней	Оконечная система	Основные функции уровней
Прикладной		← – – – →		Службы пользователей, сетевые службы и т.д.
Представительный		← – – – →		Преобразование структурированных данных и манипулирование ими
Сеансовый		← – – – →		Установление соединений, координация и синхронизация диалога
Транспортный		← – – – →		Обеспечение независимого от передающей среды транспортного сервиса между оконечными системами
Сетевой		← – – – →		Коммутация и маршрутизация в сети
Канальный		← – – – →		Управление передачей данных по каналу. Контроль ошибок, возникающих из-за физической среды передачи
Физический		← – – – →		Предоставление средств для управления физическими соединениями в канале

Физическая среда для соединения систем

Рис. 5.15. Эталонная модель соединений открытых систем

вимо. Теперь большинство пользователей и производителей вычислительной техники понимает, что требуется некоторый набор стандартов на соединения открытых систем, допускающий взаимодействие систем на всех уровнях. Эталонная модель представляет собой первый шаг на пути к этой цели.

Назначение ее уровней таково:

Прикладной уровень — самый верхний уровень из всех, определяемых Эталонной моделью. Он непосредственно поддерживает обмен информацией между оконечными пользователями, прикладными программами или устройствами. На этом уровне требуется несколько типов протоколов: те, которые предназначены для конкретных специфических приложений, и общие протоколы для поддержки пользователя и сети (например, для вычислений, управления доступом, проверки полномочий пользователя).

Представительный уровень гарантирует, что данные, которыми обмениваются устройства, поступают на прикладной уровень или к устройствам оконечного пользователя в понятном для них виде. Это позволяет использовать в различных комплектах оборудования различные форматы данных без ущерба для взаимопонимания.

Сеансовый уровень. Если два прикладных процесса в обычной вычислительной системе хотят обменяться информацией, они должны придти к некоторому соглашению относительно формы обмена. Функция сеансового уровня заключается в установлении такого рода связи — она называется сеансом или сессией.

Транспортный уровень предназначен для обеспечения уровней, находящихся выше него, некоторой совершенной системой транспортировки данных, предоставляющей услуги требуемого качества. Поскольку реальные системы передачи данных будут обладать различными особенностями, средства транспортного уровня позволяют сделать нежелательные характеристики сети передачи данных незаметными для пользователя.

Сетевой уровень выполняет обычные для сети функции коммутации (каналов или пакетов) и маршрутизации данных, следующих от одного оконечного устройства к другому. Кроме того, этот уровень реализует функции связи между двумя отдельными сетями.

Канальный уровень. Физическая среда передачи данных не является надежной из-за различных шумов, наводок и других нежелательных влияний. Канальный уровень позволяет справиться с многими разновидностями обычных

ошибок передачи, повышая тем самым качество предоставляемых услуг.

Физический уровень предоставляет средства, позволяющие подсоединиться к физической передающей среде и управлять ее использованием.

Физическая среда как таковая не входит в Эталонную модель, хотя она очень важна для ее реализации. С точки зрения традиционных вычислительных сетей физическая среда состоит из каналов связи, сетей общего пользования, арендованных каналов и т. п., а также из модемов или какого-то иного канального оборудования, которое необходимо для того, чтобы подключить к каналу устройство оконечного пользователя (ЭВМ, мультиплексоры, терминалы, контроллеры и т. п.). В локальной сети физическая среда может представлять собой совокупность кабелей и повторителей сигналов, приемопередатчиков или модемов, которые осуществляют интерфейс оборудования пользователя с сетью.

Эталонная модель сама по себе не гарантирует соединения. Каждый из уровней, входящих в нее, определяет некоторое множество функций и услуг, которые реализуются в протоколах. Работа некоторых из этих протоколов не зависит от сети (таковы протоколы трех верхних уровней); другие в большей или меньшей степени зависят от нее. Реализация физического уровня, например, на волоконно-оптическом кабеле очень сильно отличается от традиционной сети коммутации пакетов. Стандартный канальный протокол HDLC является одним из примеров множества возможных протоколов канального уровня. Другие протоколы в некоторых случаях могут оказаться более эффективными.

Локальная сеть — всего лишь один из примеров сетей передачи данных, и цель большинства разработчиков состоит в приближении конструируемой сети к идеалу архитектуры соединений открытых систем. Эталонная модель была создана до того, как были оценены все возможности локальных сетей. Поэтому модель ориентируется в основном на традиционные вычислительные сети с коммутацией пакетов. На рис. 5.16 показаны изменения, которые требуется внести в нижние уровни Эталонной модели для удовлетворения требований, предъявляемых к локальной сети.

Физический уровень выполняет свою обычную функцию сопряжения с физической средой, хотя в случае локальной сети это зависит от типа используемого повторителя, приемопередатчика или модема. Уровень канала передачи данных выполняет свои обычные функции, исправляя ошиб-

ки, появившиеся при передаче данных между устройствами, управляя потоком даных и т. д. Сам «канал» представляет собой разделяемую сеть, поэтому применяемые здесь протоколы будут отличаться от протоколов для двухточечных каналов связи в сетях коммутации пакетов.

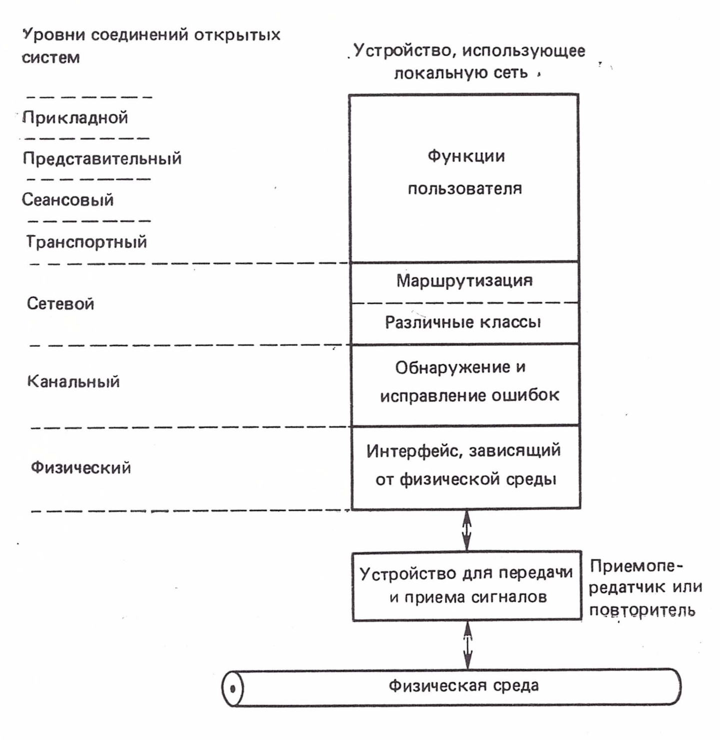


Рис. 5.16. Использование Эталонной модели для локальных сетей

Сетевой уровень будет управлять различными видами обслуживания, отвечающими используемым режимам. Так, например, некоторые применения требуют, чтобы в течение длительного периода имел место интенсивный обмен пакетами с тем, чтобы можно было передать значительную часть информации. Другие применения требуют, чтобы пересылка данных осуществлялась одиночными пакетами или сообщениями. Многие локальные сети обеспечивают широковещательную передачу сообщений, принимаемых всеми пользователями сразу. Этот класс услуг должен предоставляться на сетевом уровне. На этом же уровне выполняется и обмен данными между различными сетями,

будь то локальные сети или же сети, размещенные на обширной территории.

Локальные сети создаются в основном с целью предоставления надежных средств передачи данных между устройствами. Таким образом, главной заботой разработчиков является уровень канала передачи данных. Как уже упоминалось, в большинстве локальных сетей получатель пакета с информацией не знает заранее, откуда придет следующий пакет. Чтобы преодолеть трудности, которые могут возникнуть из-за этого, для передачи по каналу можно использовать пакет, формат которого показан на рис. 5.17. Как видно, здесь требуется указывать и адрес отправителя, и адрес получателя. Адрес отправителя информации используется устройством-получателем для того, чтобы знать, откуда пришел пакет, а адрес получателя используется в сети повторителями, приемопередатчиками и т. п. для того, чтобы пакет достиг соответствующего устройства.

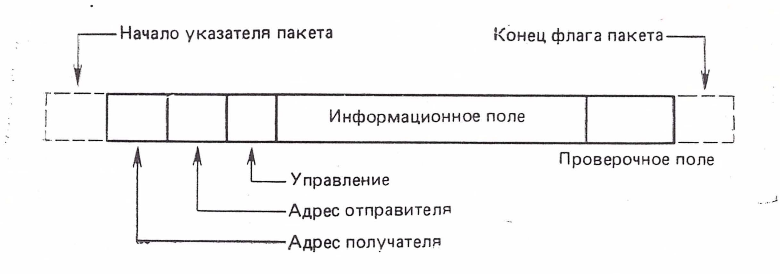


Рис. 5.17. Типичный формат пакета для локальных сетей

Не все методы, реализуемые в локальных сетях, могут обеспечить передачу всего пакета сразу. При тактированном доступе в кольцевых сетях за один раз можно передать ограниченное число символов. Они затем направляются повторителем какому-то «интеллектуальному» устройству, которое собирает их в пакет, показанный на рис. 5.17.

Используя управляющие поля или различные форматы пакета, в сети можно передавать разные виды сообщений.

Протоколы более высокого уровня необходимы, например, для того, чтобы обеспечить нескольким программам использование одной точки доступа к сети. Большинство эксплуатируемых сейчас вычислительных систем работают в мультипрограммном режиме, когда несколько отдельных программ одновременно делят между собой процессор. Не-

которые из этих программ могут взаимодействовать с другой программой или терминалом, находящимся на другом участке сети, однако вряд ли имеет смысл обеспечивать большое число сетевых связей для каждой ЭВМ. Таким образом, необходим метод распознавания входящих пакетов для отправки их соответствующим программам. Подобная ситуация возникает и в случае разделения одного контроллера между несколькими терминалами, когда контроллер обеспечивает интерфейс с сетью.

Функции представительного и прикладного уровней в модели соединений открытых систем нужны для осуществления преобразований форматов данных и протоколов, проверки права на доступ к данным.

По этим причинам в большинстве локальных сетей имеются специальные интерфейсные устройства (см. рис. 5.1), которые обеспечивают определенный вид интерфейса для подключенных к сети устройств. В общем случае другие уровни протоколов должны реализовываться в самом подключенном к сети устройстве, а конкретный вид протоколов зависит от применения, функций интерфейсного устройства и характеристик того устройства, с которым происходит обмен информацией.

Локальная сеть не гарантирует, что информация, передаваемая между устройствами, будет понятна, она лишь обеспечивает передачу этой информации до получателя. Эта задача решается на трех самых нижних уровнях Эталонной модели соединений открытых систем. Все прочие функции Эталонной модели реализуются самим пользователем.

Заметим, что локальные сети являются системами передачи данных, на которых должен строиться широкий набор услуг, предоставляемых пользователю. Распределенные вычисления, учрежденческие операции и т. п. — все это требует видов обслуживания, ориентированных на пользователя.

5.4. ОБРАБОТКА ОШИБОК

Обычные сети передачи данных на телефонных линиях, как правило, имеют более высокую частоту появления ошибок по сравнению с вычислительными системами. Сети, специально проектируемые в расчете на передачу цифровой информации, имеют несколько лучшие показатели. Локальные сети проектируются так, чтобы уровень ошибок был как можно ниже.

При использовании обычных каналов передачи данных кроме протоколов обмена данными и установления связи необходимы специальные процедуры обнаружения и исправления ошибок. Для этого был разработан канальный протокол HDLC. Ответственность за обработку ошибок возлагается на подключенное к сети оборудование.

В хорошо спроектированных локальных сетях информация с необнаруженными ошибками редко попадает в подсоединенное к сети оборудование по двум причинам. Во-первых, потому что сама сеть прнадназначена для передачи цифровой информации на небольшие расстояния. Намного легче добиться передачи без ошибок, когда расстояния малы, а качество оборудования и передающей среды можно регулировать. Вторая причина низкой частоты возникновения ошибок заключается в том, что в самой сети имеются различные процедуры обнаружения ошибок, причем выявляются как случайные ошибки, возникающие при передаче, так и участки сети с низким качеством передачи данных.

Сетевые «ошибки» могут проявляться двояко: в виде искажений передаваемых сетью данных и в виде сбоев, которые влияют на работу сети в целом. Со второй разновидностью ошибок связана, например, ситуация, когда пакеты продолжают циркулировать в сети и не удаляются. Для устранения таких сбоев необходим контроль за работой сети или включение в механизм доступа схем слежения и коррекции. Эту тему лучше оставить для главы, посвященной оценке качества сетей (гл. 7), где контроль и слежение рассмотрены подробно.

Данный раздел посвящен обнаружению и исправлению ошибок, возникающих из-за искажения передаваемых данных.

Уже объяснялось, что каналы передачи данных в локальных сетях могут использоваться двумя совершенно различными способами. Первый способ предполагает, что пропускная способность разделяется таким образом, что никакие два устройства не могут передавать информацию в один и тот же момент. При втором способе устройства соперничают между собой непосредственно за право использования канала. При этом предполагается, что неизбежные при конфликтах ошибки будут обнаружены. Первая из ситуаций характерна для большинства кольцевых сетей или для методов с последовательной передачей управления сетью от устройства к устройству. Вторая ситуация типична для широковещательных сетей с состязанием между пользователями.

В сетях, где нет состязания, отсутствует и вероятность искажения пакета другим устройством. Возможные ошибки происходят только из-за шумов и наводок. Стандартный для ЭВМ метод проверки на четность вполне достаточен для тех сетей, в которых обычно не возникает ошибок, а объемы одновременно передаваемой информации невелики. Чтобы показать, как практически выполняется проверка на четность, рассмотрим работу кольца с тактированным доступом.

В кольце с тактированным доступом для передачи данных по кольцу обычно используется короткий пакет, а пакеты между каждой парой повторителей передаются на короткое расстояние.

Поэтому достаточно контроля четности. Если пакеты более длинные, то возрастает вероятность одновременного появления двух неверных бит и, следовательно, при простой проверке на четность подобная ошибка может быть пропущена. Каждый пакет считывается в повторитель и затем передается побитно с минимальной задержкой.

Весь пакет одновременно не хранится в повторителе. Первый же бит, поступающий в повторитель, снова передается так быстро, насколько это возможно. Повторитель контролирует четность следующих через него данных и вместо того, чтобы передавать последний бит пакета (а это — бит четности), передает бит четности, подсчитанный им самим. Затем он сравнивает вычисленный им бит четности с битом четности входящего пакета. Если они не одинаковы, значит в пакете, только что оправленном повторителем, была ошибка, о чем следует незамедлительно сообщить. В общем случае первый же незанятый такт, который он получает, используется для сообщения об ошибке следящему устройству. Это устройство может анализировать появление ошибок и сообщать об ухудшении качества некоторых участков сети администратору, с тем чтобы были предприняты соответствующие меры.

Естественно, последний из получателей пакета может и не знать об ошибке в принятом пакете, так как бит четности мог быть переустановлен предыдущим повторителем. Поскольку циркулирующие в сети пакеты, как правило, слишком коротки для передачи сообщений обычного размера, используется протокол канала передачи данных с более сложными процедурами обнаружения ошибок. Такие процедуры очень похожи на те, которые используются в сетях с состязанием или в сетях с передачей более длинных пакетов. Эти процедуры будут рассмотрены позднее.

Протокол для проверки содержимого всего кадра на наличие ошибок использует специальное поле с проверочным кодом, которое располагается за информационными полями кадра. В используемом методе применяются *полиномиальные коды*, описание которых выходит за рамки настоящей книги. В [5.7] описываются полиномиальные коды, а в [5.8] объясняется, каким образом они используются при передаче данных. Так как этот метод является весьма эффективным он применяется в качестве стандартного технического приема в большинстве локальных сетей.

В широковещательных сетях с состязанием между пользователями обнаружение ошибок основано на выяснении, совпали ли по времени передачи двух или более устройств. Здесь сложность процедур обнаружения конфликтов может превышать сложность процедур в протоколе HDLC.

5.5. РАЗРАБОТКА СТАНДАРТОВ

Локальная сеть — это не просто набор кабелей, по которым от одного устройства к другому передается информация. Каждому из использующих сеть устройств требуется передатчик, вырабатывающий сигнал, а также приемник. Кроме того, следует реализовать метод доступа к сети и управление ее использованием, иначе передача по кабелям превратится в хаос. Из-за этих причин, как только обнаружился рост производства и сбыта локальных сетей, сразу же началась работа по их стандартизации. Чем раньше появлялись стандарты и чем они были целенаправленнее, тем проще было пользователю обзавестить интерфейсами и другим оборудованием, которое отвечает его требованиям и гарантирует нужную скорость обмена информацией с другими устройствами сети и правильные форматы данных.

Могут быть выработаны стандарты для метода формирования сигнала в локальных сетях (имеется в виду передача модулированных и немодулированных сигналов, манчестерское кодирование или другой метод), метода доступа (CSMA/CD, тактированный доступ и др.), скорости передачи данных, формата пакета, адресации, самого кабеля и способов подключения к нему.

Фирма Xerox (США) одной из первых приняла участие в стандартизации локальных сетей. Ее участие заключалось в активном протежировании изготавливаемой ею сети Ethernet. Чтобы добиться превращения сети Ethernet в промышленный стандарт для возможно большего числа

потенциальных клиентов, фирма Xerox учредила консорциум Ethernet, куда вошли фирма Intel(производящая большие интегральные схемы) и фирма Digital Equipment (производящая мини-ЭВМ). В 1980 г. этот консорциум выпустил документацию на сеть Ethernet [5.9]. С тех пор сеть Ethernet усиленно навязывается в качестве стандарта для локальных сетей с шиной для передачи немодулированных сигналов.

Институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (ИИЭР) в США также решил исследовать возможности стандартизации локальных сетей. Было обнаружено, что среди членов этой организации по ряду причин имеется сильная оппозиция к перспективе принятия сети Ethernet в качестве единственного стандарта для локальных сетей. Методы Ethernet удобны только для сетей с шиной, а имеется явная потребность в учреждении стандарта и для кольцевых сетей. Кроме того, ряд применений для управления предприятиями и производственными процессами требует такого уровня надежности и гарантированного доступа, которые трудно достичь с помощью сети Ethernet в ее стандартной форме.

В ИИЭР было решено исследовать возможности стандартизации технических решений сети Ethernet для сетей, использующих шину с передачей модулированных сигналов, и возможности стандартизации метода маркерного доступа. Маркерный доступ может быть реализован как в кольцевых, так и в шинных сетях и позволяет ввести уровни приоритетов доступа для удовлетворения требований пользователей, связанных с управлением производственными процессами в реальном масштабе времени. Цели этих исследований опубликованы в [5.10].

Метод тактированного доступа к кольцу, наиболее известным примером использования которого является сеть Cambridge ring, имеет мощную поддержку со стороны пользователей в Великобритании, особенно университетов. Кольцо с тактированным доступом, предложенное в качестве промышленного стандарта, рассчитано на работу с быстродействием 50 Мбит/с. Сторонники этого стандарта считают, что он должен существовать наряду с другими стандартами. Работа в этом направлении будет продолжена Британским институтом стандартов с привлечением пользователей из академий и при поддержке заинтересованных производителей.

Сети с тактированным доступом могут настойчиво предлагаться ИИЭР в качестве одного из стандартов.

6. ПРИМЕРЫ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

В предыдущих главах рассматривались основные принципы построения локальных сетей. В настоящей главе будет показано, как происходит совместная реализация этих принципов. Очевидно, число возможных сочетаний методов доступа, топологии, среды передачи и так далее чрезвычайно велико. Некоторые из этих сочетаний трудно реализуемы, другие чересчур дороги или недостаточно эффективны.

Локальные сети появились в научно-исследовательских организациях. Наибольший вклад в их развитие внесли Исследовательский центр фирмы Xerox в Пало-Альто, Кембриджский университет, фирмы Mitre и Hasler. Описанные далее сети отражают уровень реализаций основных методов управления сетями, применяемыми в настоящее время.

Главу завершает краткий обзор других перспективных разработок.

6.1. ETHERNET

Термин Ethernet обозначает как готовое изделие, так и реализованный в нем метод. Изделие представляет собой локальную сеть, поставляемую на рынок фирмой Xerox (в Великобритании — Rank Xerox). Она соединяет друг с другом устройства, предназначенные для использования в качестве учрежденческого электронного оборудования. Фирмы Xerox, Digital Equipment и Intel имеют и продают лицензию на метод передачи данных, используемый в этой сети. Сам метод определяет идеологию нескольких изделий: локальных сетей связи, полностью укомплектованных локальных вычислительных сетей (сети, процессоры, программное обеспечение и устройства) и отдельных устройств (приемопередатчиков, связных контроллеров и т. д.).

Целью этой лицензионной процедуры является сопряжение разнообразного оборудования с любой сетью, использующей метод Ethernet в том виде, в котором он определен фирмой Xerox и другими участниками консорциума. Это подразумевает не только стандартный метод доступа, но и схему присвоения имен и адресов, так что любое устройство для Ethernet, где бы оно не было изготовлено, может использоваться в любой сеги Ethernet, имея уникальный адрес.

6.1.1. ETHERNET — ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР В ПАЛО-АЛЬТО

В начале 70-х годов фирма Xerox в США спроектировала сеть Ethernet в качестве экспериментальной сети для использования в принадлежащем фирме Исследовательском центре в Пало-Альто. Назначением сети было подсоединение дешевых учрежденческих рабочих станций к дорогостоящим ЭВМ, файловым системам и прочему учрежденческому оборудованию.

Невысокая стоимость большинства устройств, образующих сеть связи, оказала значительное влияние на конструкцию Ethernet. Сеть связи должна была быть дешевой по сравнению со стоимостью подключаемых к ней оконечных устройств (за исключением дорогостоящего разделяемого оборудования); это требование основывалось на том, что никто не заинтересуется приобретением сети, если она будет стоить больше, чем устройства, которые к ней подсоединяются. Быстрое падение стоимости вычислительного оборудования, особенно персональных ЭВМ, «интеллектуальных» терминалов и учрежденческих рабочих станций, предназначавшихся для сети Ethernet, наложило сильные ограничения на выбор вида сети и привело к отказу от стандартных методов использования отдельных кабелей, мультиплексоров, устройств согласования с каналами, модемов и контроллеров.

Кроме экономических соображений, проектировщики сети Ethernet учитывали и некоторые другие факторы, а именно:

сеть в целом должна отличаться высокой надежностью, а сбой или отказ любого из отдельных ее компонентов (кроме, может быть, кабеля) не должен влиять на работу остальной сети;

стоимость эксплуатации, в том числе неизбежные накладные расходы и расходы на поддержание работоспособности, должны быть низкими;

не должно быть центрального контроллера и, следовательно, управление доступом должно быть распределено по сети;

поскольку основная масса устройств, использующихся в сети Ethernet, это вычислительные устройства, сеть должна легко управлять пульсирующим входящим трафиком;

сама сеть, а также интерфейсные устройства, не должны вносить неудобства в обычную для учреждений обстановку.

В результате необходимо было создать сеть как можно более простую. Оказалось, что привычные методы опроса и фиксированного тактирования при использовании временного уплотнения не годятся, так как помимо того, что они отличаются большой стоимостью и сложностью,

эти приемы мало подходят для управления данными, передача которых носит пульсирующий характер.

В качестве передающей среды сети выбран коаксиальный кабель, потому что его можно легко приобрести и он, благодаря своим физическим особенностям, способен передавать данные на высоких скоростях и на сравнительно большие расстояния без применения специального экранирования или повторителей. Кроме того, было решено принять шинную топологию и применить широковещательный метод, развитый на основе экспериментов с радиовещанием, которые проводились Гавайским университетом для сети ALOHA. Топология сети Ethernet имеет древовидную структуру, состоящую из нескольких связанных шин.

Конкурентное разделение шины между пользователями было использовано потому, что этот метод считался подходящим для пульсирующего трафика. Ключ к пониманию концепции Ethernet следует искать не в используемой передающей среде, не в топологии сети, а в методе доступа к сети. Информация, подлежащая передаче, помещается в пакет, который хранится в буфере. Пакет содержит адреса отправителя и получателя и поле проверки. Когда сеть свободна, пакет передается, а в это время передающее устройство прослушивает широковещательный канал, проверяя, совпадает ли передача в нем с содержимым буфера данного устройства. Тем самым легко установить, что никакое иное устройство не начало передачу в течение этого же интервала передачи. Для разрешения трудностей из-за возможных конфликтов в канале в сети Ethernet реализованы некоторые специальные приемы, разработанные в Пало-Альто.

Если в это же время начнет передачу еще какое-то устройство, то результирующий сигнал, принимаемый по кабелю, не будет соответствовать обоим передаваемым в данный промежуток времени пакетам; устройство-отправитель (а также любое «прослушивающее» канал устройство) обнаружит, что пакеты столкнулись. Правила сети Ethernet гласят, что каждое их устройство прерывает после этого передачу и повторяет ее по прошествии некоторого случайного времени. Подробно этот метод, обычно называемый множественным доступом с контролем несущей и обнаружением конфликтов (CSMA/CD), рассмотрен в гл. 5. В ранних сетях с состязанием отправитель не прослушивал широковещательный канал и поэтому зря терял время на передачу, которая накладывалась на передачи других отправителей.

Этот метод в практических реализациях оказался эффективным. Он снижает потери времени использования канала из-за одновременных передач, но годится главным образом для сетей, работающих на коротких расстояниях. Особенно он хорош в тех ситуациях, когда используется только малая доля общей пропускной способности сети, а интенсивность передач информации имеет пульсирующий характер. Длительные периоды непрерывной передачи информации от одного устройства могут нарушить работу сети в целом. Метод достаточно просто реализуется.

Принципы сети Ethernet и метод множественного доступа CSMA/CD возможно являются наиболее важными из всех, что применяются в настоящее время в локальных сетях. Они не только могут совместно внедряться в виде единой сети с шиной (стандартная Ethernet), но метод доступа CSMA/CD может быть, кроме того, реализован в других конструкциях сетей. Об этом будет кратко упомянуто в следующем разделе.

6.1.2. КОММЕРЧЕСКАЯ СЕТЬ ETHERNET

Вслед за успешными испытаниями в Пало-Альто и в других местах в 70-х годах фирма Xerox расширила спецификацию сети Ethernet и в 1980 г. совместно с фирмами DEC и Intel определила ее конфигурацию [6.1].

Эта версия основана на методе множественного доступа с контролем несущей и обнаружением конфликтов (CSMA/CD), разработанном в Исследовательском центре в Пало-Альто. Ниже дается краткое изложение основных свойств сети Ethernet.

Топология: древовидная, составленная из отдельных шинных сегментов. Между любыми двумя устройствами можно установить не более двух повторителей (устройств, регенерирующих сигнал и соединяющих сегменты). Это несколько ограничивает топологию сети, и самым лучшим решением оказывается магистральная шина, к которой подсоединены все прочие шинные сегменты (рис. 3.14).

Передающая среда: коаксиальный кабель, сопротивление которого равно 50 Ом. Каждый сегмент должен с обоих концов иметь согласующую нагрузку 50 Ом. Чтобы облегчить подключение к кабелю, его следует поделить метками на участки в 2,5 м длиной, поскольку соединители определенного типа, будучи помещены в местах, расстояния между которыми не кратны указанной длине, могут неблагоприятно повлиять на электрические свойства кабеля.

Метод передачи сигнала: немодулированный сигнал, последовательная побитовая передача, манчестерское кодирование.

Скорость передачи данных: 10 Мбит/с.

Максимальная длина сегмента кабеля: 500 м.

Максимальное количество станций в сети: 1024.

Метод доступа: множественный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов (CSMA/CD).

Кадр: переменная длина (от 72 до 1526 байт), формат кадра показан на рис. 6.1. Особое поле («преамбула») указывает на начало кадра. Указатель конца кадра отсутствует.

Адресация: как адрес отправителя информации, так и адрес получателя входят в кадр, и каждый адрес занимает 48 бит. Первый бит в поле адреса получателя — это так называемый бит многоадресной передачи, который принимает значение 1 всякий раз, когда каждое устройство, указанное в «блоке» (это понятие будет сейчас определено), должно принять сообщение. Следующее поле длиной 23 бита представляет собой номер блока, который выделяется тому, кто имеет лицензию[1]. Следующие 24 бита представляют номер устройства внутри блока. Этот номер выделяется держателем данного блокового номера. В поле адреса отправителя первый бит всегда устанавливается в 0.

Хотя скорость передачи данных равна 10 Мбит/с, сеть разделяется всеми пользователями, так что фактическая скорость обмена данными между двумя устройствами оказывается меньше. Высокая номинальная скорость передачи данных весьма существенна для такого типа системы. Благодаря ей есть уверенность в том, что каждая пара устройств, обменивающихся информацией, сможет получить удовлетворительную интенсивность обмена, не тратя на ожидание слишком много времени. Схема адресации преднамеренно построена так, чтобы добиться уникальности номера, присваемого устройству, изготовленному для сетей Ethernet, чтобы можно было соединить отдельные сети Ethernet (например, с помощью крупномасштабной сети) и при этом пользоваться теми же адресами, которые установлены в каждой локальной сети.

---

[1] Фирмы-разработчики сети Ethernet организовали специальное адресное бюро, которое выдает блоки адресов тем, кто покупает сеть Ethernet, и тем, кто имеет лицензию на ее производство. Эти уникальные адреса «зашиваются» в устройства, предназначенные для сети Ethernet. — *Прим. перев.*

Приемопередатчики служат для того, чтобы устройства оконечных пользователей могли подсоединиться к передающей среде Ethernet. Приемопередатчик обеспечивает передачу сигнала и прослушивание канала другими устройствами. Данные, которые нужно передать, помещаются сначала в соответствующий пакет с адресом. Кроме того, подсоединенное к сети устройство должно, если обнаружен конфликт, решать, когда посылать пакет.

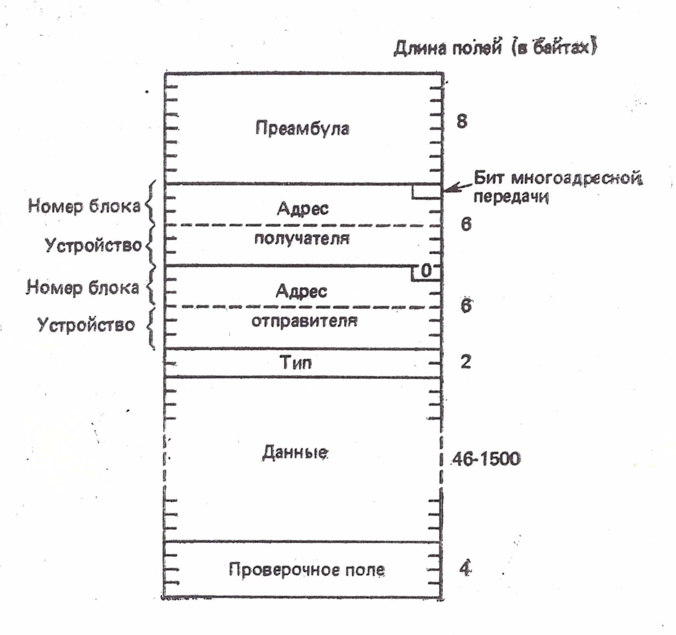


Рис. 6.1. Формат кадра сети Ethernet

В условиях эксплуатации сеть Ethernet показала себя достаточно хорошо. Была проведена имитация ситуаций, соответствующих перегруженной сети, с тем, чтобы проверить адекватность технических решений. Оказалось, что в этих условиях шина используется на 97%. Одним из обстоятельств, которые могут вызвать озабоченность, является запаздывание пакета из-за чрезмерной загруженности сети.

Согласно правилам сети Ethernet станция, пакет которой был искажен в результате конфликта, должна, прежде чем попытаться снова отправить тот же пакет, выждать какое-то время. Если она опять потерпит неудачу с передачей, то время ожидания возрастает. Это значит, что

передачи этой станции будут замедлены передачами других станций, хотя те и делают первые попытки. Тем не менее, сочетание высокой скорости передачи данных со сравнительно низким уровнем использования пропускной способности сети, имеющим место при обычных условиях, и склонностью цифровых устройств выдавать информацию малыми порциями — «всплесками», которые разделены длинными интервалами пассивности, означает, что замедление передач возникает редко.

Благодаря экспериментально проверенным возможностям и легкости получения лицензий принципы сети Ethernet послужили основой для ряда сетей. Фирма Ungermann-Bass в США разработала сеть, в которой Ethernet используется в качестве основного метода передачи данных, но с устройствами, позволяющими подсоединять к сети широкий набор обычных терминалов и ЭВМ. Эта сеть, названная Net/One, стала одной из первых коммерческих локальных сетей на основе Ethernet.

Сеть Net/One расширяет возможности сети Ethernet, обеспечивая простые интерфейсы с обычной вычислительной техникой.

6.2. ДРУГИЕ СЕТИ С ПЕРЕДАЧЕЙ НЕМОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ В ШИНЕ

Сети HYPERchannel и HYPERbus используют методы, близкие к Ethernet, но с модификациями, чтобы избежать увеличения временны́х задержек из-за конфликтов между пакетами в процессе передачи. Фирма-разработчик Network System (США) назвала свой метод множественным доступом с контролем несущей и избежанием конфликтов (Carrier-sense Multiple Access with Collision Avoidance — CSMA/CA).

Метод CSMA/CA состоит в следующем. Если сеть остается в течение некоторого времени свободной, то станция, имеющая данные для отправки, сначала прослушивает канал, чтобы убедиться, что в этот момент другая станция не передает информацию и, если это так, приступает к передаче.

Если же не произошло конфликта, то устройство-получатель сразу посылает отправителю подтверждающий пакет. Само подтверждение не может столкнуться ни с каким пакетом, потому что после каждой передачи сеть переходит в иной режим, в котором станции могут передавать информацию не когда угодно, а лишь в пределах

заранее установленных временных интервалов фиксированной длительности — тактов. В этом режиме каждой станции предоставляется возможность передать информацию в отведенном для нее такте, благодаря чему исключается возможность конфликта. Если не был использован ни один из предоставленных тактов, сеть переходит в состояние свободного доступа, в котором станциям разрешается передавать данные в любое время. Если в этом режиме произойдет конфликт, то подтверждение не посылается, поэтому устройство-отправитель сможет повторить попытку передачи в отведенном ему такте.

Этот метод представляет собой сочетание метода состязания со стандартным методом уплотнения с временным разделением. Он был разработан для сетей с малым числом станций или точек доступа. При большом числе устройств, посылающих информацию через регулярные интервалы времени, в сети будет теряться чрезмерно много времени на «предварительное выделение временных тактов»; при этом бо́льшая часть тактов останется неиспользованной.

Сеть HYPERchannel была первой коммерческой сетью, в которой этот метод нашел применение. Она сконструирована в основном для соединения друг с другом ограниченного числа быстродействующих устройств, таких как большие ЭВМ, их периферийное оборудование и контроллеры устройств. Скорость передачи данных в сети HYPERchannel составляет 50 Мбит/с для каждого кабеля, а поскольку параллельно могут работать до четырех кабелей, то можно достичь скорости в 200 Мбит/с. Каждый кабель рассматривается в качестве отдельной сети со своими интерфейсными устройствами. Сеть HYPERchannel, как правило, применяется только для соединения больших ЭВМ и нескольких терминалов.

Сеть HYPERbus предназначена для соединения большого числа низкоскоростных устройств с использованием обычного для локальных сетей подхода. Она работает со скоростью передачи 6,312 Мбит/с и использует разновидность метода CSMA/CD. Эта сеть хорошо вписывается в сеть HYPERchannel, где служит для обеспечения доступа к большим ЭВМ. Хотя HYPERbus представляет обычную шинную сеть с состязанием, в которой используется коаксиальный кабель, предусмотрена возможность применения в этой сети волоконно-оптических кабелей. В последнем случае необходимы два кабеля, чтобы информация от интерфейсных устройств передавалась в обоих направлениях.

6.3. СЕТЬ CAMBRIDGE RING

6.3.1. ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ КЕМБРИДЖСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

В начале 70-х годов Лаборатория вычислительной техники Кембриджского университета занялась экспериментами в области распределенной обработки данных. Вскоре стало ясно, что требуется способ соединения различных ЭВМ, их терминалов и других устройств, находящихся внутри одного здания или помещения. Для обеспечения полосы частот с шириной, достаточной для передачи между ЭВМ необходимого количества информации, например, как в случае пересылки файлов, сеть связи должна работать со скоростью передачи данных, которая существенно выше той, что предоставляется обычными телефонными каналами.

В первом проекте сети Cambridge ring, начатом в 1974 г., стремились поточнее скопировать сеть Hasler ring, которая уже работала в Бернских исследовательских лабораторих фирмы Hasler (см. ниже). Сотрудники лаборатории сочли, что кольцевая сеть должна быть очень удобной для задач распределенной обработки, поскольку ее концепция проста и кажется нетрудной для практической реализации. Метод вставки регистра, который применила фирмы Hasler, давал возможность осуществить справедливое разделение пропускной способности кольца между всеми подсоединенными к нему устройствами. Кроме того, этот метод позволял удостовериться в успехе или неудаче доставки каждого переданного пакета. Это требование очень важно для любой сети, создаваемой для передачи данных между ЭВМ.

Во время первых экспериментов были обнаружены некоторые трудности, связанные с методом вставки регистра. А именно, затруднения вызвало то обстоятельство, что при сбое в регистре любой станции или в повторителе кольцо целиком выходило из строя. Если же в станции, которая не вовлечена непосредственно в обмен данными, произойдет такой сбой, то его невозможно будет обнаружить до тех пор, пока станция не попытается передать данные, а это уже слишком поздно, чтобы предупредить отказ, который вызовет выход из строя всего кольца. Так как у исследовательской группы в Кембридже в то время имелись еще и серьезные сомнения в отношении собственных возможностей изготовления надежных устройств с вставкой регистров, она решила выбрать иной метод, основывающийся на непрерывно циркулирующем по кольцу

пакете-контейнере, — метод тактированного доступа. Устройства, выполненные для вставки регистра, были переделаны, что не вызвало затруднений, так как многие схемы для обоих методов очень похожи.

Наиболее важным результатом работы Лаборатории вычислительной техники Кембриджского университета явилось установление того факта, что метод тактированного доступа к кольцу (называемый теперь Cambridge ring) несложен в практической реализации. Сотрудники лаборатории также очень скоро осознали необходимость включения в сеть специального устройства, которое бы удаляло из тактов те пакеты, которые в силу каких-то причин не были приняты получателем. В кольце, установленном в Лаборатории вычислительной техники в Кембридже, используются витые пары и передача немодулированных сиг-

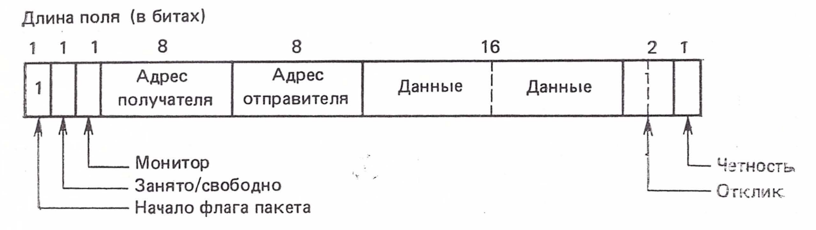


Рис. 6.2. Основной формат такта в сети Cambridge ring

налов, а скорость передачи данных составляет 10 Мбит/с. Размер используемого такта (пакета-контейнера) очень мал по сравнению с типичной длиной сообщения (рис. 6.2). Длина такта — 38 бит, а поля его таковы:

Бит	**Функция**
1	Флаговый бит, указывающий начало такта.
2	Бит состояния занято/свободно.
3	Мониторный бит.
	Комбинация 2-го и 3-го битов означают следующее:
	11 указывает на то, что отправитель передал такт;
	10 устанавливается мониторной станцией в знак того, что такт однажды прошел через нее. Если мониторная станция получает такт с такой комбинацией бит, она тем самым обнаруживает, что устройство-отправитель не опустошило такт, т. е. возникла ошибка.

00 устанавливается отправителем при опустошении такта;

01 устанавливается монитором в пустом такте. Если такт вернется к монитору с той же комбинацией 01, то следует проверить всю остальную часть такта на наличие ошибок.

4—11 Адрес получателя. Адрес 0 присваивается монитору. Адрес 255 — широковещательный, указывает на все устройства.

12—19 Адрес отправителя.

20—35 Поле данных.

36—37 Поле отклика, используемое следующим образом:

11 устанавливается отправителем. Если такт возвратился, а комбинация не изменилась, то такт игнорируется;

10 устанавливается устройством, получившим такт, в знак того, что он был отвергнут;

01 устанавливается устройством, получившим такт, в знак того, что он был принят;

00 устанавливается устройством, получившим такт, в знак того, что устройство было занято и не смогло обработать такт.

38 Бит четности. Переустанавливается каждым поворителем, через который проходит такт.

Повторители могут работать с очень высокой скоростью, так что обработка тактов не задерживает их передачу по кольцу. На рис. 6.3 показаны компоненты

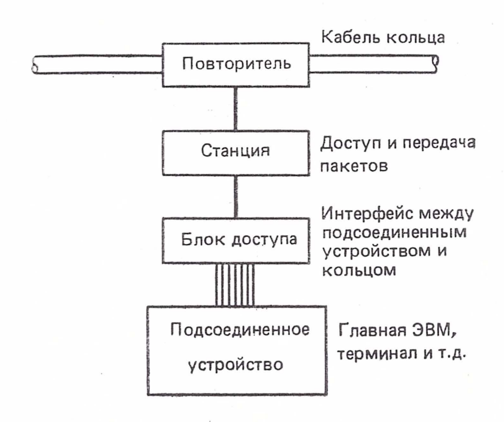


Рис. 6.3. Интерфейс в сети Cambridge ring

узла кольца. Повторитель передает станции содержимое такта, которое может быть изменено. Блок доступа выполняет функцию преобразования протоколов кольца в протоколы и интерфейс, требуемые присоединенным устройством.

Два кабеля витых пар используются для передачи данных следующим образом: если одновременно изменяются состояния обоих кабелей, это означает передачу бита 1; если меняется состояние только одного кабеля, то — бита 0. Поскольку необходимо совместно контролировать сигнал в обоих кабелях, то небольшие отличия в длинах проводов, составляющих каждую витую пару или расхождения того же рода между самими витыми парами способны исказить данные. По этой причине повторители размещаются на небольших расстояниях друг от друга: как правило, на расстоянии не более 100 м.

Питание к повторителям обычно подводится от источников постоянного тока прямо через кабель. Таким образом можно отключить подсоединяемые устройства, либо удалить их из кольца, оставляя при этом в кольце работоспособный повторитель. Секции кабеля нередко соединяются разъемами, так что повторители можно вставить в кабель, не разрезая его. В то время, пока будет вставляться повторитель, некоторые такты, циркулирующие по кольцу, будут испорчены, но обычные процедуры обнаружения ошибок, как правило, устраняют появившиеся ошибки до того, как они попадут к конечному пользователю.

В сети Лаборатории вычислительной техники в Кембридже имеется секция волоконно-оптического кабеля. Волоконно-оптический кабель может быть легко установлен в сети Cambridge ring, причем использование такой передающей среды позволяет разнести повторители на значительно бóльшие расстояния, чем в случае витых пар.

Рис. 6.4. Формат базисного блока

Поскольку размер такта в сети Cambridge ring слишком мал, то обычно предусматривается обращение к протоколам более высоких уровней с тем, чтобы облегчить работу с пакетами и сообщениями обычного размера. *Протокол базисного блока* используется наподобие протоколов управления ка-

налом типа HDLC. Формат базисного блока показан на рис. 6.4. Поле с меткой номера порта служит для того, чтобы через один кольцевой интерфейс можно было осуществлять индивидуальную адресацию прикладных программ, работающих в главной ЭВМ, или отдельных устройств, подключенных к контроллеру. Поле данных в базисном блоке имеет переменную длину.

Протокол базисного блока используется для передачи отдельных блоков информации от одного оконечного пользователя к другому. Каждый базисный блок передается порциями по 16 бит в полях данных кольцевого такта, изображенного на рис. 6.2. Для удовлетворения требований различных областей использования сети были предложены разные способы применения этого протокола.

Одним общим требованием для всех систем передачи данных является форма обмена типа запрос/ответ. Если запрос состоит из короткого сообщения (например, строка, введенная с терминала), то требуется незамедлительный ответ. Для удовлетворения этого требования разработан *протокол однократной передачи.* Он использует протокол базисного блока, в поле заголовка которого установлена особая комбинация бит, указывающая однократную передачу. Также могут быть указаны различные функции запроса. Специальные коды в блоке ответа свидетельствуют об успехе или неудаче запроса.

Еще одно требование к распределенной вычислительной сети заключается в том, что она должна передавать длинные потоки данных из одного места в другое, например, файлы или записи. Для выполнения этого требования был разработан *протокол передачи потока байт*, который для обеспечения безошибочной передачи данных использует протокол базисного блока.

Большинство изделий, разработанных на основе сети Cambridge ring, реализует эти протоколы.

6.3.2. КОММЕРЧЕСКИЕ СЕТИ НА БАЗЕ АРХИТЕКТУРЫ СЕТИ CAMBRIDGE RING

Хотя в оригинале сети Cambridge ring применен такт размером 38 бит, это несколько неудобно для реализации протоколов более высокого уровня. В большинстве дальнейших реализаций было решено перейти на более длинные такты. Наиболее просто реализуется такт разме-

ром 40 бит, два дополнительные разряда которого помещаются после поля данных [1].

При этом в повторителе и блоке доступа легко установить переключатели, указывающие на то, что длина применяемого такта 38 или 40 бит. Некоторые из примеров типичных коммерческих систем:

Logica VTS — Polynet — такты длиной 38 или 40 бит, повторители работают при более низком напряжении, чем в сети Cambridge ring.

Orbis Computers/Acorn Computers — архитектура Cambridge ring.

Scientific and Electronic Enterprises Ltd — Transring — такты длиной 38 бит.

Toltec Computer Ltd — DataRing — такты длиной 40 бит, с возможностью адаптации на 38 бит.

6.3.3. СЕТЬ PLANET

Сеть PLANET представляет собой кольцо с тактированным доступом, слегка отличающееся от ранее рассмотренной сети Cambridge ring. Это кольцо разработано и поставляется на рынок фирмой Racal-Milgo.

Сеть PLANET (сокращение английского словосочетания, означающего «частная локальная сеть», — Private Local Area NETwork) использует в качестве передающей среды коаксиальный кабель, который дублирован для надежности. Следовательно, примененный здесь метод передачи немодулированных сигналов будет значительно отличаться от метода сети Cambridge ring.

Соединительные устройства для надежности являются пассивными и не нуждаются в электропитании, тогда как повторители работают обычным образом. В сети имеется мониторное устройство, называемое администратором.

Размер такта равен 42 бит, из которых 16 бит отведено под данные. Его формат показан на рис. 6.5.

Если сравнивать этот такт с тактом в сети Cambridge ring, видно, что в сети PLANET применяются четыре дополнительных бита управления, предшествующие полю данных. Это управляющее поле служит для указания способа использования адресного поля и поля данных в данном конкретном такте.

В этом случае возможны услуги более высокого уровня, отличающиеся от тех, что имеются в сети Cambridge

---

[1] Дополнительные разряды служат для ответа устройства-получателя: такт принят, такт отвергнут, устройство занято, устройство не работает. — *Прим. перев.*

ring. Помимо обычного широковещательного такта (когда одиночный такт или сообщение адресуется некоторой группе или всем пользователям кольца) здесь организованы еще четыре различных типа услуг, включающие организацию «вызова» или соединения между двумя устройствами:

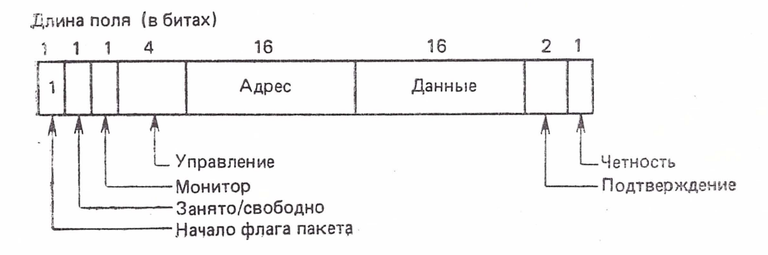


Рис. 6.5. Формат пакета в кольце PLANET

1. *Фиксированные вызовы.* Администратор ставится в известность о том, что два пользователя кольца нуждаются в постоянном общении друг с другом, после чего администратор устанавливает постоянную связь (постоянный виртуальный канал) между этими пользователями.

2. *Назначаемые вызовы* — это фиксированные вызовы, которые устанавливаются не администратором, а пользователем кольца, который для этого использует специально назначенную точку доступа. Эти вызовы устанавливают связь с другими пользователями сети.

3. *Коммутируемые вызовы* — существуют лишь в течение обмена сообщениями.

4. *Диагностические вызовы* — возникают между администратором и устройствами доступа (так называемыми терминальными точками доступа), а не между самими присоединенными устройствами. Они предназначены для проверки работы сети.

6.4. СЕТИ С ПЕРЕДАЧЕЙ МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

Для некоторых приложений сети с передачей модулированных сигналов оказываются значительно удобнее сетей с передачей немодулированных сигналов. В частности, такие сети менее уязвимы для наводок со стороны электрооборудования. Именно эта особенность давала преимущество применению самых первых сетей с передачей модулированных сигналов, разработанных для управления производственными процессами.

Подобные сети могут использоваться и для иных целей, причем они предоставляют значительно бо́льшую ширину полосы рабочего диапазона частот, а следовательно, бо́льшую пропускную способность, чем практически любая другая сеть. Широкий рабочий диапазон делает эти сети исключительно удобными для цветного телевидения, работающего в реальном масштабе времени. Способность таких сетей работать как с цифровой, так с аналоговой информацией — качество, которое позволяет применять их в интегральных системах связи, например, при передаче данных, вырабатываемых ЭВМ, и обычных телефонных переговоров (в аналоговой форме).

Фирма Mitre провела множество экспериментов с сетями, в которых для передачи используются модулированные сигналы и метод состязания между пользователями: сначала с двумя своими сетями MITRIX, а позднее с сетью MITRENET. Полученные при этом методы были в дальнейшем развиты и применены в поставляемых на рынок изделиях ряда фирм-изготовителей, среди которых наиболее известны фирмы Sytek и Wang.

6.4.1. ФИРМА MITRE

Подход к объединению в сеть различных устройств, находящихся на небольшом расстоянии друг от друга, фирмы Mitre в США отличается от подхода Ethernet фирмы Xerox. Фирма Mitre столкнулась с необходимостью обслуживания возрастающего числа терминальных пользователей, которым хотелось получать доступ к нескольким главным ЭВМ, обеспечивающим обработку данных и текстов, «электронную почту», средства разработки и отладки программного обеспечения и т. п. Обычное решение такого рода проблемы означает установку отдельного терминала для каждой из главных ЭВМ, к которым требовался доступ, и прокладку линии, связывающей этот терминал с соответствующей ЭВМ. Между тем, сама мысль об установке множества звездообразных сетей для всех ЭВМ пугала разработчиков, не говоря уже о естественной дороговизне подобного мероприятия. Фирма Mitre решила адаптировать для передачи данных методы кабельного телевидения.

В США используется кабельное телевидение, а не телевизионный прием с помощью отдельной антенны, устанавливаемой на каждом доме, как это делается, например, в Великобритании. Фирмой Mitre был применен обычный коаксиальный кабель с той лишь особенностью, что рабо-

чий диапазон частот был равен 300 ... 400 МГц. Поскольку сеть рассчитывалась на длительное использование при разнообразных условиях и должна была охватывать область размером в город, наиболее подходящим для использования в этой локальной вычислительной сети было оборудование, имеющееся в свободной продаже.

Главной трудностью, с которой приходится сталкиваться при использовании кабельного телевидения для передачи данных, является ограниченное число стандартных телевизионных каналов, которые можно установить в полосе частот шириной 300 ... 400 МГц. Телевизионный канал занимает полосу частот шириной 6 МГц, что значительно больше, чем нужно для передачи данных в большинстве случаев, поэтому число двухточечных дуплексных каналов с такой шириной полосы окажется слишком малым по сравнению с числом пользователей, которое может достигать нескольких сотен. Другая трудность связана с тем, что если каждый телевизионный канал равнозначен двухточечной проводной линии связи, следовательно, у отправителя будут затруднения с переключением с одного канала на другой. Фирма Mitre решила, что обе эти трудности можно с успехом преодолеть, если к отдельным каналам применить метод временно́го уплотнения.

Это важное решение породило сеть MITRIX. В ней используется простой метод временно́го уплотнения, когда каждому из пользователей предоставляются временны́е интервалы — такты, на которые разбивается время работы канала. Сеть работает хорошо, если пользователи передают данные почти непрерывно. Однако она отличается, в общем, низким уровнем использования суммарной пропускной способности каналов.

Развитие сети было связано с переходом на два режима работы: устройствам, часто пользующимся сетью, выделяются отдельные, только для них предназначенные, временны́е такты; низкоскоростные устройства и устройства, выдающие информацию короткими порциями, делят между собой остающиеся такты. Реализация стала, естественно, сложнее, поскольку теперь устройствам, делящим временны́е такты с другими устройствами, приходилось проверять, свободны ли их такты, прежде чем занять их. Если обнаруживались конфликты, то надо было обращаться к процедурам повторных передач и восстановления.

Дальнейшие работы фирмы Mitre в 70-х годах привели к созданию сети MITRENET. В этой сети метод множественного доступа с контролем несущей и обнаружением конфликтов, разработанный для сети Ethernet, был при-

менен к каналам с частотным разделением в сети кабельного телевидения. Эта система во многих отношениях оказалась успешной. Устройства, которые интенсивно пользуются сетью, нуждаются в доступе к каналу в течение длительных периодов времени. Поэтому им можно выделить отдельные, только для них предназначенные каналы, которые в таком случае напоминают частные арендованные телефонные каналы. По сути дела, для передачи аналоговой информации (речи, телевизионных программ и т. д.) могут быть использованы те же кабели, поскольку для этой цели также можно отвести только для нее предназначаемые полосы частот, входящие в общий рабочий диапазон.

6.4.2. СЕТЬ VIDEODATA

Сеть Videodata была разработана организацией Interactive Systems в США (в Великобритании поставляется на рынок фирмой 3M Company) с тем, чтобы удовлетворить индивидуальные требования к высоконадежной распределенной кабельной сети, которая может работать в условиях электрических помех. Такого рода услуги обеспечиваются на основе особых свойств модулированных несущих частот и при использовании коаксиальных кабелей.

Действующая сеть Videodata отличается большой гибкостью и предоставляет три различных класса услуг:

1. *Двухточечная связь* — простейший вид канала, который может быть обеспечен с помощью частотного уплотнения, при этом каждая пара устройств пользуется двумя частотами, по одной для каждого из направлений передачи, и соответствующей парой модемов, работающих на фиксированных частотах. Она очень удобна при постоянной связи между парами устройств, недорога и проста при внедрении.

2. *Многоточечная связь* включает несколько устройств, которые делят между собой один частотный канал аналогично многоточечному каналу. Здесь требуется контроллер для опроса отдельных устройств. Эта функция возлагается на главное оконечное устройство.

3. *Распределенная связь.* В этом случае используется специальный опросный канал, посредством которого главное устройство управляет некоторым числом других устройств. Если какие-то из них готовы передать информацию или участвуют в обмене данными, то главное устройство назначает этим устройствам частотные каналы. Они затем могут пользоваться этими каналами независимо от

остальных пользователей. Чтобы эта система была работоспособной, с каждым из подключенных к сети устройств должен использоваться модем с перестраиваемой рабочей частотой, способный переключаться на любой из возможных каналов (вариант схемы коммутации каналов в системе с частотным уплотнением).

Сеть Videodata для прямых каналов использует частоты 5...108 МГц, а для обратных каналов — 170...308 МГц.

6.4.3. СЕТЬ WANGNET

Лаборатории фирмы Wang развили идеи, заложенные в сеть MITRENET фирмы Mitre, применив их в двухкабельной сети, в которой весь частотный диапазон 300...400 МГц может использоваться для передачи в обоих направлениях, что в сумме составляет 600...800 МГц. В сети WangNet используется диапазон 340 МГц. Он делится на три поддиапазона.

1. *Диапазон WANGBAND* предназначен для связи ЭВМ и другого оборудования фирмы Wang с применением разновидности метода доступа CSMA/CD. Общая скорость передачи данных составляет 12 Мбит/с.

2. *Диапазон внутренних соединений* используется для связи устройств и терминалов других фирм. Могут использоваться каналы со скоростью передачи 64 кбит/с, многоточечные (с опросом) или двухточечные каналы с быстродействием 9,6 кбит/с, и некоторое число коммутируемых каналов. Для этого требуются модемы с перестраиваемыми рабочими частотами, управляемые специальным контроллером сети.

3. *Коммунальный диапазон* разбивается на отдельные каналы для передачи информации, которая вырабатывается не в ЭВМ, например: аналоговой или цифровой речи, телеконференций и т. д.

6.4.4. СЕТЬ LOCALNET

Сеть LocalNet представляет собой дальнейшее развитие реализованных в сети MITRENET методов, основанных на применении одного коаксиального кабеля. Фирма Sytek, входящая в корпорацию Network Resources в США, разработала сеть, а фирма Network Technology поставляет ее на рынок Великобритании.

Общий частотный диапазон кабеля разделен на две полосы. Распределяются они следующим образом: диапа-

зон 40...106 МГц предназначается для передачи; диапазон 196...292 МГц — для приема. Главное устройство (ретранслятор) прослушивает всю полосу канала, предназначенную для передачи, и повторно передает всю информацию на частотах выше 156 МГц. Модемы прослушивают каналы в более высоком частотном диапазоне и передают в более низком. При этом используется не вся имеющаяся ширина полосы частот. В будущем предполагается реализовать коммутацию каналов.

В настоящее время имеются две разновидности сети LocalNet:

1. *LocalNet System 20* — сравнительно низкоскоростная сеть, в которой диапазон 70...106 МГц используется для передачи, диапазон 226...262 МГц для приема. Имеются 120 каналов, каждый из которых занимает полосу частот шириной 300 кГц и имеет скорость передачи данных 123 кбит/с. Каждый канал разделяется по принципу шины с состязанием с разновидностью метода доступа CSMA/CD.

2. *LocalNet System 40*. Благодаря организации каналов, занимающих полосу 6 МГц и обеспечивающих скорость передачи даных 2 Мбит/с, оказалось возможным построение быстродействующего варианта сети. В системе используется диапазон 40...70 МГц для передачи и диапазон 196...226 МГц для приема. Кроме того, здесь для разделения канала между устройствами применен метод доступа CSMA/CD. Этим двум системам выделены различные рабочие диапазоны частот, поэтому они могут совместно использовать один кабель и являются полностью совместимыми. Для связи устройств, работающих в разных каналах, применяются специальные переходные устройства. Они повторно передают информацию на другой частоте и меняют скорость передачи информации, если один из каналов принадлежит *System 20*, а другой — *System 40*.

Присоединение устройств пользователей к сети осуществляется через «интеллектуальные» интерфейсные модули, в которые входят радиочастотные модемы, устройства управления доступом, интерфейс с устройством пользователя, преобразователи протоколов и дешифраторы данных, если они необходимы.

6.5. СЕТИ МИКРО-ЭВМ

Стоимость локальных сетей и их способность связывать большое число устройств делают их чрезвычайно

удобным средством для объединения микро-ЭВМ и персональных рабочих станций на микропроцессорах. Микропроцессорные устройства обычно недороги, так как они изготавливаются в больших количествах. Персональные ЭВМ и рабочие станции часто нуждаются в доступе к другим устройствам, которые могут быть намного дороже. Примерами служат запоминающие устройства на магнитных дисках (гибкие диски и жесткие диски большой емкости) и печатающие устройства.

Сами по себе накопители на гибких дисках сравнительно недороги, но когда для каждой рабочей станции или микро-ЭВМ в учреждении предусматривается, скажем, два дисковода, то общая стоимость оборудования может быть очень высокой. Если же учесть стоимость эксплуатации всех этих устройств, в которых много электромеханических узлов, то окажется, что такой комплекс оборудования не по карману многим организациям.

Поэтому разумнее обеспечить работу высоконадежного запоминающего устройства на жестких дисках, использование которого разделяется между всеми пользователями сети, и оставить минимальное число устройств на гибких дисках, которые необходимы для загрузки нового программного обеспечения, переноса данных на устройства вне данной сети, для дополнительной защиты данных и т. д. Печатающие устройства должны также разделяться между пользователями, особенно, если каждый из них редко выводит данные в виде печатных документов.

Стоимость отдельных устройств пользователей, как правило, низка. Поэтому затраты на сеть передачи данных для обеспечения связи с разделяемыми устройствами должны быть малы по сравнению со стоимостью подключаемого оборудования. Локальные сети могут обеспечить такую экономичную связь только в том случае, если применяются простые методы доступа и передачи сигналов. Поскольку требования к вводу-выводу для микро-ЭВМ относительно невысоки, то скорости передачи данных в сети, проектируемой для микро-ЭВМ, могут быть не очень большими. Благодаря этому легче построить недорогие интерфейсы.

Имеется ряд сетей, которые удовлетворяют этим требованиям. В большинстве случае производители таких сетей являются и производителями соответствующих микро-ЭВМ. Проще иметь дело с сетью, которая проектировалась в расчете на использование только одного типа устройств. Ниже следует краткое описание двух типичных

примеров локальной сети микро-ЭВМ[1]. Обе сети основаны на шине с состязанием и реализуют метод доступа CSMA/CD. Но они различным образом приспособлены к требованиям со стороны тех устройств, между которыми обеспечивается связь.

6.5.1. СЕТЬ CLUSTER/ONE (NESTAR)

Локальная сеть Cluster/One в форме Model A предназначена для соединения персональных микро-ЭВМ Apple. Эта сеть была разработана в США фирмой Nestar, а на рынок Великобритании поставляется фирмой Zynar. Более ранний вариант сети Cluster/One допускал объединение и некоторых других типов микро-ЭВМ, однако было решено стандартизировать использование в сети микро-ЭВМ Apple, поскольку таким образом снижалась ее стоимость.

Типичная сеть Cluster/One показана на рис. 6.6 Служба введения файлов использует накопитель на жестком магнитном диске, который обслуживает все микро-ЭВМ Apple. Сама файловая служба представляет собой микро-ЭВМ Apple, оснащенную специальным аппаратным и программным обеспечением. При включении любой другой микро-ЭВМ Apple служба ведения файлов загружает в нее операционную систему и выделяет ей необходимую файловую область. В результате каждая из рабочих станций Apple функционирует как обычная микро-ЭВМ Apple, использующая обычный накопитель на гибких дисках.

Служба печати позволяет разделять различные типы печатающих устройств между всеми пользователями сети. Эта служба реализуется на тех же микро-ЭВМ Apple специальной конфигурации.

В сети используются разновидность метода доступа CSMA/CD и многожильный кабель (плоский ленточный с 16 проводниками или круглый). Применение многожильного кабеля дает ряд преимуществ. В этом случае для параллельной передачи данных может использоваться несколько проводников. Таким образом, скорость передачи сигнала может быть значительно ниже той, которая требовалась для достижения той же скорости при последовательной передаче данных. Свободные проводники служат

---

[1] Важное значение также имеет сеть PC Network фирмы IBM, предназначенная для подключения персональных ЭВМ IBM PC, XT, AT. Эта сеть разработана на базе лицензии фирмы Sytek на локальную сеть с коаксиальным кабелем, передачей модулированных сигналов и методом доступа CSMA/CD. Скорость передачи 2 Мбит/с. Число подключаемых устройств — до 1000. — *Прим. перев.*

для синхронизации и индикации рабочего состояния. Последняя возможность упрощает контроль несущей в сети. Устройство, имеющее данные для передачи, сначала проверяет наличие сигнала в соответствующем проводнике. Если этот проводник находится в состоянии «включено»,

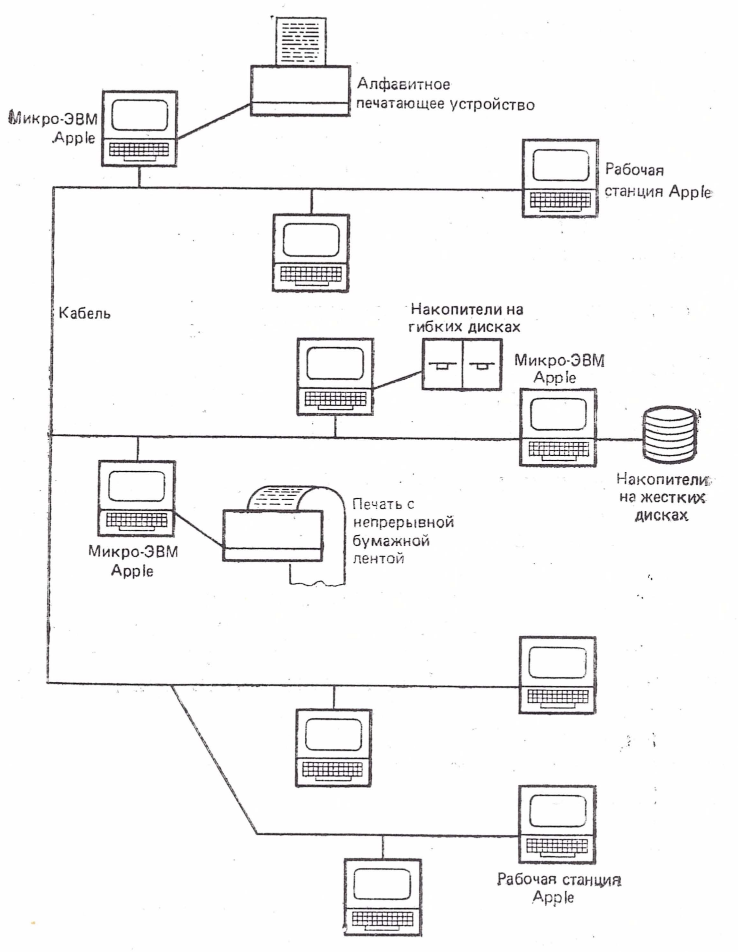


Рис. 6.6. Типичная сеть Cluster/One фирмы Nestar

то устройству ясно, что идет передача данных от какого-то другого устройства. Если же этот проводник «выключен», данное устройство сначала «включает» его и затем начинает передачу. Конфликты между пакетами возникают, как и при обычном применении метода CSMA/CD, по-

этому для их обнаружения требуется «прослушивание» канала.

Скорость передачи в сети Cluster/One составляет 240 кбит/с, а суммарная длина кабелей может быть около 300 м. В сети используется шина с ответвлениями без петель. Допустимое число подключаемых к сети устройств равно 64, однако возможно соединение двух сетей через шлюз, в качестве которого опять используется микро-ЭВМ Apple.

Сеть поставляется на рынок как интегральная учрежденческая система, объединяющая в себе саму сеть передачи данных, рабочие станции и набор пакетов программ, ориентированных на конкретных пользователей (электронная почта, обработка текстов, работа с файлами и базами данных).

6.5.2. СЕТЬ ECONET (ACORN COMPUTERS)

В сети Econet, которую производит и поставляет на рынок фирма Acorn Computers (Великобритания), используется подход, похожий на тот, который применен в сети Cluster/One. Сеть Econet разрабатывалась для обеспечения связи между микро-ЭВМ Acorn Atom. Предполагалось построить сеть для автоматизации процессов обучения. Однако эта сеть годится также и для автоматизации учрежденческих работ.

Используемый кабель представляет собой витую пару из четырех проводов, сеть может разделяться между 255 устройствами. Скорость передачи данных 210 кбит/с. Наибольшая длина кабеля 1 км. Здесь опять применена разновидность метода CSMA/CD, которая соответствует особенностям микро-ЭВМ Acorn Atom. Используется разделяемая файловая система на диске под управлением микро-ЭВМ Acorn Atom.

6.6. ДРУГИЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Все методы доступа, физические среды передачи данных и топологии, которые были описаны в предыдущих главах, расчитаны на использование в локальных сетях. Кроме шин с состязанием, шин с передачей модулированных сигналов или систем типа Cambridge ring, практический интерес представляют методы, основанные на вставке регистра и на маркерном доступе. По мере улучшения доступности и снижения стоимости волоконно-оптических кабелей будет возрастать их роль в качестве сре-

ды передачи информации. Однако уже сейчас их применение оправдано, когда к системе предъявляются особые требования (небольшая масса, большие расстояния, устойчивость к электрическим наводкам и т. д.).

6.6.1. ВСТАВКА РЕГИСТРА

Базирующая в Швейцарии фирма Hasler, производящая оборудование связи, разработала и поставляет на рынок кольцевую сеть на основе метода вставки регистра, которая называется SILK (сокращение английского названия System for Integrated Local Communication). Сам метод вставки регистра был объяснен достаточно подробно в гл. 5. В существующей в настоящее время реализации сети SILK используется тот вариант метода, где пакет передается в кольцо отправителем, а изымается получателем. Для гарантии достоверности подтверждений о приеме пакета должны использоваться более высокие уровни протоколов, основывающиеся на обычных стандартах сети передачи данных общего пользования.

Сеть SILK была одной из первых экспериментальных локальных сетей. Следует отметить также, что она построена фирмой, которая в основном занимается оборудованием связи, а не вычислительной техникой.

В начале 70-х годов фирма Hasler приступила к серьезным исследованиям цифровой телефонной связи для использования внутри предприятия или организации. В результате экспериментов была разработана несложная кольцевая сеть, удобная как для передачи преобразованной в цифровую форму речи, так и для передачи данных, генерируемых ЭВМ. Лабораторный вариант сети обеспечивал передачу данных со скоростью 10 Мбит/с. Разработчики системы были уверены в том, что учреждению нужна только одна сеть связи, а не набор отдельных сетей, каждая из которых имеет определенное назначение: одна — для телефонной связи, другая — для связи ЭВМ, третья — для управления производственным процессом, четвертая для телеохраны и т. д. Разработчики полагали, что, применяя цифровые методы связи, можно обойтись одной сетью, интегрирующей передачу всех видов информации, более дешевой, чем набор сетей.

На разработку этой сети оказало сильное влияние развитие вычислительной техники и электроники:

пользователи вычислительных устройств и оборудования для управления производственными процессами стали требовать системы коммутации значительно большей гибкости по сравнению с теми сис-

темами, которые им поставлялись. Современные системы позволяют более легко и свободно соединять различные устройства между собой;

резкое падение стоимости БИС, особенно микропроцессоров, запоминающих устройств и устройств цифрового кодирования, выполненных на кристаллах (служащих для преобразования в цифровую форму аналоговых речевых сигналов), привело к улучшению программного обеспечения отдельных устройств, включенных в сеть, поскольку отпала нужда в уменьшении объема аппаратного обеспечения;

стало выгодно выпускать заказные интегральные схемы, пригодные для работы на высоких частотах, что важно для передачи цифровых данных с высокой скоростью.

Много внимания было уделено «интегральным» аспектам SILK. Поэтому она была сконструирована для передачи данных, телеграфии, телефонии и т. д.

Структурно SILK представляет собой кольцевую сеть. Данные передаются по кольцу только в одном направлении. Существующая в настоящее время система работает со скоростью передачи информации 16 Мбит/с и использует стандартный 75-омный коаксиальный кабель, предназначенный для передачи немодулированных сигналов. Одной из наиболее важных особенностей этой сети с точки зрения потенциального пользователя является реализация стандартных протоколов связи для подключаемых к сети устройств. Таким образом, для подключения к сети SILK можно воспользоваться теми же протоколами, которые применяются в сети общего пользования.

Типичная кольцевая сеть SILK показана на рис. 6.7. Устройства подсоединяются к сети через ближайший локальный блок (ЛБ). Сеть может иметь до 150 блоков, каждый из которых поддерживает несколько отдельных устройств. Сами оконечные устройства подсоединяются через те же интерфейсные устройства, которые используются и для подключения к цифровой сети общего пользования.

В каждой сети имеется один главный блок (ГБ), выполняющий обычные функции контроля и управления сетью. Он имеет большое значение, поэтому на практике его дублируют резервным блоком. Кроме того, главный блок может работать подобно локальному блоку, обеспечивая подсоединение к сети оконечных устройств.

Локальные и главные блоки соединяются между собой дублированными коаксиальными или волоконно-оптическими кабелями. Каждый локальный блок непосредственно соединяется с ближайшими соседними блоками через один кабель (первичная петля) и со следующими — через другой кабель (вторичная петля), как это показано на рис. 6.7. Таким образом, если выйдет из строя какое-то соединение или локальный блок, то имеется резервный

канал, позволяющий обойти неисправный участок. Можно построить также и третичную петлю, в которой соединение осуществляется через два блока.

Сеть SILK проектировалась в расчете на работу как с речевым трафиком, так и с данными. Используемые телефонные аппараты представляют собой специальные устройства с встроенными цифровыми преобразователями и

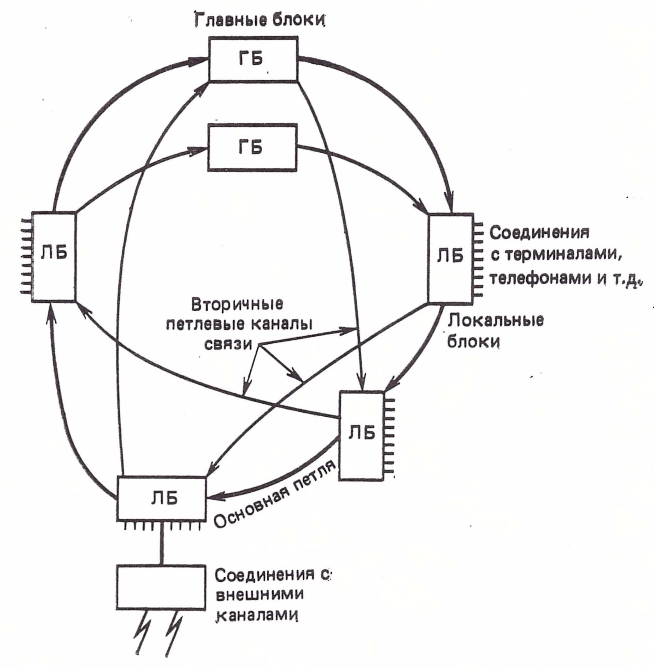


Рис. 6.7. Структура кольцевой сети SILK

рядом других особенностей, разработанные фирмой Hasler. Абонент с одного из телефонов набирает номер другого телефонного аппарата сети, а сам разговор между ними осуществляется передачей между ними пакетов с преобразованной в цифровую форму речью. Для установки соединения не нужна центральная АТС, поскольку сами телефонные аппараты в сочетании с соответствующими локальными блоками и схемой адресации в сети SILK могут выполнять все необходимые для телефонной связи функции.

Для передачи информации в кольце используются небольшие пакеты размером до 16 бит.

6.6.2. МАРКЕРНЫЙ ДОСТУП

Методы маркерного доступа могут применяться в кольцевых или шинных сетях. Фирма PRIME Computers реализовала (как часть разработанной ею сети PRIMENET) кольцо с передачей маркера для соединения своих ЭВМ на ограниченной географической области. Другие части сети PRIMENET обеспечивают связь между ЭВМ и терминалами, разнесенными на большие расстояния друг относительно друга.

Фирма Appolo Computers также поставляет на рынок кольцо с маркерным доступом для своей сети DOMAIN (аббревиатура английского названия Distributed Operating MultiAccess Interactive Network). Она представляет собой набор аппаратных и программных средств, предназначенный для инженерно-технических расчетов и проектирования. Каждый пользователь имеет персональную ЭВМ, соединенную с другими ЭВМ и разделяющую общие ресурсы сети. Для связи в кольце используется коаксиальный кабель со скоростью передачи данных 12 Мбит/с. Работа механизма передачи маркера была подробно объяснена в гл. 5[1].

Шины с передачей маркера значительно сложнее для реализации, хотя этот метод и обладает рядом преимуществ по сравнению с другими. Проблемы реализации связаны, главным образом, с методами, используемыми для включения устройств в логическую последовательность и исключения из нее, а помимо этого с требованием, чтобы в каждый момент в сети был только один маркер.

7. ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Как правило, пользователя локальной сети интересуют материальные выгоды, связанные с конкретным применением сети. Если сеть к тому же может повысить качество работы пользователя и облегчить ее, то он с удовольствием будет работать с ней. Далеко не все экспериментальные локальные сети проектировались так, чтобы их эффек-

---

[1] Фирма IBM анонсировала свою кольцевую сеть с передачей маркера Token ring для автоматизации учрежденческой деятельности. Используются различные передающие среды. Скорость передачи 4 ... 16 Мбит/с. К кольцу можно подключать до 256 устройств фирмы IBM. Подробнее см. [Д8]. — *Прим. перев.*

тивность была как можно выше. Например, сеть Cambridge ring обладала значительно более широкой полосой пропускания, чем большинство традиционных вычислительных сетей. Поэтому на начальном этапе проектирования не предпринималось никаких попыток оптимизировать ее [7.1].

Можно сказать, что Cambridge ring работает хорошо в том смысле, что при нормальных условиях данные могут передаваться между подсоединенными к сети устройствами за очень короткий промежуток времени. Высокая скорость сквозной передачи поддерживается в течение длительного времени при низком уровне ошибок. Между тем количество информации, передаваемое в каждом циркулирующем по кольцу такте, составляет всего 16 бит при общей длине такта не менее 38 бит. Дополнительные биты в такте служат для управления кольцом. Вряд ли такой режим передачи данных можно считать эффективным. Тем не менее кольцо функционирует достаточно хорошо в большинстве приложений.

Здесь сеть Cambridge ring приведена в качестве примера того, какие факторы должны учитываться при анализе эффективности локальных сетей. Другие подходы к построению сетей имеют те же особенности, объясняющиеся компромиссом, который был достигнут на определенном этапе проектирования между стоимостью системы, трудностями внедрения, скоростью передачи данных, частотой возникновения ошибок и требованиями конкретной области применения.

Когда же готовая сеть поставляется на рынок, то критерии оценки ее рабочих характеристик могут быть различными. Например, может потребоваться сеть, способная обслуживать большое число терминалов и рабочих станций, для которых не нужна высокая физическая скорость передачи данных, но зато важно, чтобы задержки в сети были малы и поддерживалась работа одновременно большого числа пользователей.

В данной главе обсуждаются основные факторы, влияющие на характеристики функционирования сетей. В локальных сетях при измерении их рабочих характеристик приходится сталкиваться со специфическими трудностями, которые будут рассматриваться ниже. И, наконец, одной из ярких особенностей локальных сетей можно считать ту очевидную свободу, которую такие сети предоставляют пользователю: он может подсоединять к сети все новые устройства и источники информации. Эти особенности ло-

кальных сетей будут проанализированы с тем, чтобы определить, какие образом локальные сети соответствуют запросам пользователя.

7.1. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕТЕЙ

Функционирование любой системы, будь то большая ЭВМ, микро-ЭВМ или вычислительная сеть, может оцениваться только субъективно. Что удовлетворяет одних пользователей, может оказаться совсем непригодным для других. Особенности системы, удовлетворяющие оконечного пользователя, могут оказаться нежелательными для проектировщиков или создать проблемы при внедрении.

Эффективность функционирования сетей зависит от следующих факторов: пропускной способности, подсоединенного устройства, оконечного пользователя, разновидности и частоты возникновения ошибок, возможности получения доступа к сети, методов обеспечения надежности.

7.1.1. ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ

Пропускная способность — один из важнейших с точки зрения пользователей факторов. Она оценивается количеством данных, которое сеть может передать в единицу времени от одного подсоединенного к ней устройства к другому. На рис. 7.1 показаны возможные зависимости пропускной способности от нагрузки на сеть.

Идеальная характеристика. К подобному виду характеристики стремится каждый разработчик. Пропускная способность монотонно растет по мере роста нагрузки до тех пор, пока нагрузка на сеть не достигает некоторого критического значения. После этого пропускная способность остается на постоянном максимальном уровне и не зависит от дальнейшего увеличения нагрузки.

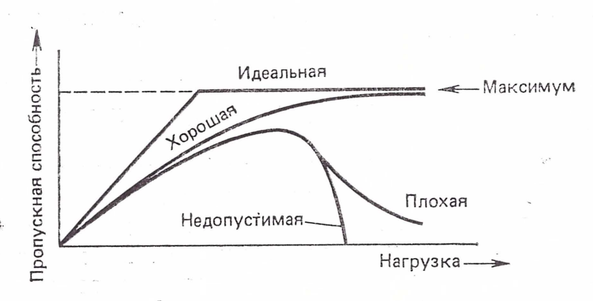


Рис. 7.1. Характеристики пропускной способности

Хорошая характеристика. Это практическая альтернатива идеальной ситуации. Пропускная способность сети плавно возрастает по мере увеличения нагрузки на сеть, постепенно приближаясь к максимальному значению.

Плохая характеристика встречается на практике, но не может удовлетворить пользователя. Пропускная способность сети растет с увеличением нагрузки на нее до некоторого пикового значения, не достигая теоретического максимума. Затем она падает, хотя нагрузка на сеть продолжает увеличиваться.

Недопустимая характеристика. Практических реализаций сети с подобными характеристиками не должно быть. Пропускная способность сети растет до пикового значения, которое ниже теоретического максимума, а затем падает до нуля, когда нагрузка на сеть достигает некоторой критической точки. В этой точке сеть блокируется, и дальнейшим увеличением нагрузки на сеть уже нельзя добиться передачи данных через нее.

Для большинства локальных сетей в настоящее время характерна «хорошая» характеристика, хотя некоторые из более ранних сетей, внедрявшихся до того, как были разработаны соответствующие методы управления, давали плохие и недопустимые характеристики.



Рис. 7.2. Временные задержки при передаче данных

На рис. 7.2 показаны основные факторы, влияющие на пропускную способность сети. При этом предполагается, что подключенные к сети устройства уже подготовили информацию к передаче, поместив ее в соответствующие пакеты.

Задержка в очереди. Когда пакет готов к передаче, его необходимо поместить в очередь в интерфейсном уст-

ройстве сети вслед за другими пакетами, ожидающими передачу.

Задержка доступа. Пакету, находящемуся в начале очереди, как правило, приходится ждать подходящего момента в сетевом трафике до того, как его удастся передать. Таким моментом может оказаться свободный интервал между транзитными пакетами; интервал, когда свободен канал передачи; перерыв после предыдущей неудачной попытки передать пакет; получение разрешения на передачу.

Длительность передачи. Для того чтобы передать в сеть весь пакет, требуется определенное время. Оно является функцией интенсивности модуляции или скорости передачи сигнала, а также быстродействия интерфейсного устройства. Типичные сети работают со скоростями от 1 до 10 Мбит/с.

Задержка на распространение сигнала. Каждый сигнал в сети передается с очень высокой, но конечной скоростью. Радиоволны в вакууме перемещаются со скоростью света. Электрические сигналы в медном проводнике имеют меньшую скорость. Таким образом, даже первому биту в пакете нужно какое-то время для достижения пункта назначения.

Когда информация достигает своего получателя, она подвергается проверке и анализу в приемном интерфейсном устройстве, после чего передается оконечному пользователю либо прикладной программе.

Задержка в очереди может существенно ограничивать субъективно воспринимаемое пользователем быстродействие сети, особенно если используемое устройство порождает непрерывные потоки данные в течение коротких интервалов времени или когда сеть перегружена. Если пакет, находящийся в начале очереди, невозможно передать быстро, то существует вероятность переполнения очереди. Для того чтобы источник данных не предпринимал попыток поставить свои пакеты в уже переполненную очередь, необходимы определенные управляющие процедуры.

В общем случае способы доступа к кольцу предсказуемы, и они не допускают блокировки сети. Причина очевидна: в кольце, как правило, требуется получить разрешение на передачу информации либо в явной форме с помощью маркера, либо в неявной (при других методах доступа к кольцу). Этими разрешениями относительно легко управлять — обычно они просто последовательно перемещаются по кольцу. Подобные ситуации в сетях с шинной конфигу-

рацией, работающих с выдачей в некотором виде разрешения каждому устройству, также легко прогнозировать.

Оценка ситуаций в сетях с шинами, в которых реализованы методы доступа с состязанием между устройствами, представляет собой основную трудность как для пользователя, так и для разработчика. Эти оценки основываются на типичных условиях работы и предполагают равные возможности в использовании сети для всех устройств.

Рассмотрим сначала сети с доступом к шине с состязанием. В шину поступает сигнал начала передачи одного из устройств, который распространяется до всех точек сети. Время, необходимое для достижения всех участков сети, является критической характеристикой. Это как раз тот самый отрезок времени, в течение которого какое-то другое устройство может не заметить, что сеть уже используется, и само начать передачу. Максимальная пропускная способность сети есть функция времени распространения сигнала. На рис. 7.3 изображена характеристика некоторого гипотетического метода доступа с состязанием между



Рис. 7.3. Зависимость максимальной пропускной способности сети от задержки на распространение сигнала

устройствами. Подобный характер зависимости типичен для сетей такого рода. Для сравнения показаны характеристики для методов «Простая ALOHA» и «Тактированная ALOHA». Краткое обсуждение проблем, связанных с задержками в широковещательных сетях, использующих, в частности, методы ALOHA и CSMA, содержится в [7.2] и [7.3].

По мере увеличения задержки в сети растет и время, которе тратится на достижение сигналом крайних участков сети. В сетях с методом доступа CSMA/CD, когда осуществляется передача, необходимо проверять канал на наличие в нем другого сигнала. Таким образом, пакеты должны быть достаточно длинными для того, чтобы в момент

достижения сигналом крайнего участка сети передача еще продолжалась На рис. 7.4,*а* показана передача пакета с минимальной задержкой в сети. Станции А и В максимально удалены друг от друга, и сигнал станции В достигает станции А до того, как станция А завершила переда-

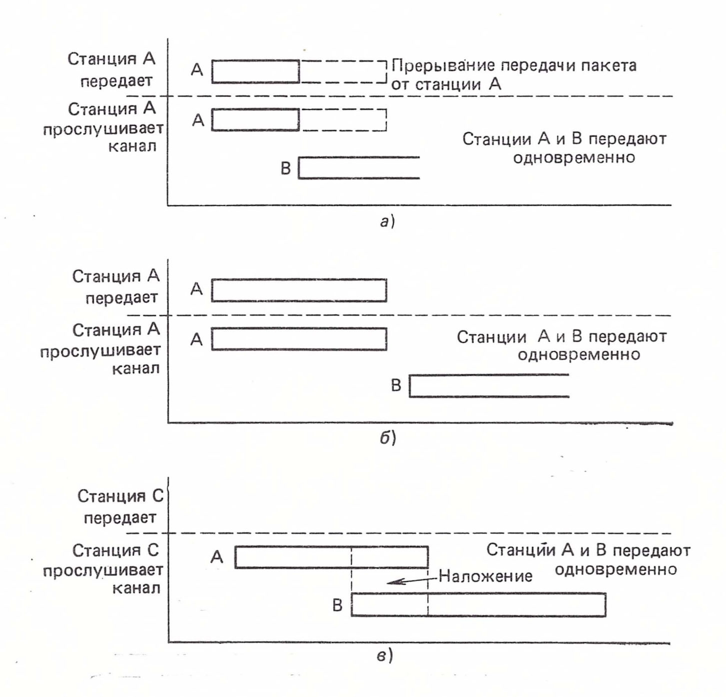


Рис. 7.4. Влияние длительности передачи в сети на обнаружение наложения пакетов:
а — задержка на распространение сигнала по сети достаточно мала для того, чтобы станция А могла обнаружить искажение пакета; *б* — задержка на распространение сигнала по сети слишком велика, и пакет от станции В достигает станции А после того, как станция А закончит передачу; *в* — те же пакеты от станций А и В, что и в случае *б*, но за ними следит станция С, расположенная между станциями А и В

чу. Аналогичная ситуация имеет место со станцией В. Таким образом, обе станции обнаруживают искажение посланных ими пакетов и прекращают передачу с тем, чтобы по прошествии некоторого времени попытаться повторить ее. На рис. 7.4,*б* показаны те же станции, но задержка в сети здесь увеличена. Станция А заканчивает передачу до того, как «услышит» передачу станции В. Поэтому станция А не может заметить, что ее пакет был иска-

жен, прежде чем он дошел до места назначения. На рис. 7.4,*в* показано, как другая станция в сети обнаруживает, что пакеты от станций А и В наложились друг на друга. В практических реализациях для обнаружения пакета и запроса повторной передачи необходим протокол более высокого уровня, а не тот, что применяется в методе доступа.

Для того чтобы избежать возникновения описанной ситуации, в шине с состязанием минимальный размер пакета должен быть функцией максимальной задержки в сети. По мере увеличения задержки, например, за счет роста размера сети, должна увеличиваться и минимальная длина пакета. В случае небольших сообщений фиксированного размера это, вообще говоря, ведет к росту накладных расходов, что, в свою очередь, требует увеличения максимальной пропускной способности.

Если скорость передачи данных в одной из таких сетей возрастает, то время, в течение которого пакет находится в сети, уменьшится. Эффект получается такой же, как при изменении длины сети.

В кольцевых сетях возникают другие проблемы, связанные с пропускной способностью. Здесь пропускную способность легче прогнозировать независимо от применяемого метода доступа. Практически в каждом из существующих методов доступа к кольцу используется режим последовательного доступа. Устройства могут передавать информацию лишь в промежутках между транзитными пакетами либо по получении специальным образом оформленного разрешения.

Максимальная пропусканая способность кольца обычно измеряется физической скоростью передачи данных, которая определяет скорость, с которой пакеты передаются между различными точками кольца. Физическая скорость передачи информации между абонентами сети, в качестве которых выступают терминалы, программы или пользователи, может быть намного меньше. Например, сеть Cambridge ring работает со скоростью 10 Мбит/с, но это всего лишь скорость продвижения такта по кольцу. Такт не может постоянно использоваться одной и той же станцией, так как всем станциям должны быть предоставлены равные возможности в передаче. Таким образом, если в кольце имеется всего один такт (пакет-контейнер) и некоторая станция передает ряд данных другой станции, то передающая станция использует такт, помещая в него лишь часть данных, а затем освобождает его, передавая какой-то другой станции сети. Вновь воспользоваться тактом эта станция сможет лишь тогда, когда к ней опять по-

падает такт с флагом «свободно». Если никакая другая станция не нуждается в такте, то он пройдет по всему кольцу (предполагается, что мониторная станция не будет использовать свободный такт для тестирования целостности кольца), прежде чем передающая станция вновь сможет им воспользоваться. Если другие станции будут тоже передавать информацию, то такт совершит несколько оборотов по кольцу, прежде чем вновь станет доступным данной станции.

Даже если можно было бы непрерывно пользоваться тактом, только часть максимальной пропускной способности сети могла бы использоваться для передачи данных. Около 60% длительности такта отводится под адрес и управляющие поля, а для информации пользователя остается примерно 40%. Некоторая часть такта используется устройством-получателем для подтверждения правильности приема. Подтверждение на каждый такт обязательно должно проверяться устройством-отправителем, чтобы решить, пересылать ли следующую часть сообщения или делать повторную передачу. На практике, если по кольцу циркулирует n тактов, то одна станция может передавать информацию, используя лишь каждый $(n+2)$-й такт в предположении, что теми же тактами не будут пользоваться другие станции.

Максимальная скорость передачи данных между двумя точками кольца составляет примерно $4/(n+2)$ Мбит/ с, если физическая скорость передачи в кольце равна 10 Мбит/с [7.1, 7.4]. При $n=1$ скорость передачи данных составляет 1,3 Мбит/с. Для $n=2$ скорость получается еще более низкой — около 1 Мбит/с.

Если увеличить скорость передачи данных в сети Cambridge ring, то пропорционально возрастет и максимальная пропускная способность сети, так как увеличится число транзитных тактов. Однако эффективность передачи между двумя точками не возрастет в той же степени.

Можно разработать специальные методы, повышающие эффективность использования пропускной способности. Например, увеличение числа циркулирующих по кольцу тактов не столь важно, как оперативное освобождение имеющихся тактов сразу же по возвращении их к устройству-отправителю. Может быть введена дополнительная возможность — так называемое «сохранение такта», которая позволяет устройству, передающему длинную последовательность данных, пользоваться для этого одним и тем же тактом в течение продолжительного времени. Для гарантии корректности работы кольца и обработки ошибок тре-

буется ввести дополнительные уровни процедур подтверждения, находящиеся выше уровня протокола кольца. Другая дополнительная возможность состоит в использовании тактов разных размеров. Короткие такты могут использоваться как обычно — каждый из них освобождается сразу же по возвращении к отправителю, а длинные такты задерживаются на более длительное время, чтобы сразу передать большой объем информации. С помощью этих методов можно достигнуть большей скорости передачи данных между двумя точками подключения к кольцу. Для выполнения дополнительных функций по предупреждению удержания такта на неограниченное время требуется специальный монитор. Кроме того, требуются сложные протоколы более высокого уровня для адекватного контроля ошибок и управления потоками данных.

Стандартная реализация метода тактированного доступа, типичным примером которой является сеть Cambridge ring, всегда гарантирует, что каждое из устройств получит равную долю пропускной способности сети.

Функционирование кольцевых сетей со вставкой регистра и маркерным доступом несколько отличается от функционирования сетей с тактированным доступом. В первых двух методах устройство-отправитель «вставляет» последовательно в кольце сдвиговый регистр, равный по длине передаваемым пакетам. Это увеличивает суммарное время, которое тратится на передачу сигнала по всему кольцу, поэтому в результате по мере увеличения числа и размеров транзитных пакетов, растет размер кольца. Следовательно, с увеличением нагрузки на сеть сразу же падает эффективная скорость передачи данных между двумя точками кольца. Как только нагрузка снижается, сразу увеличивается скорость передачи. Возможность блокирования сети здесь отсутствует. Если скорость передачи данных между двумя точками подключения устройств возрастает, то сквозное управление потоком данных заставит устройство-отправитель понизить скорость, с которой оно передает пакеты. Тем самым автоматически регулируется нагрузка на сеть. Все устройства сохраняют возможность доступа к сети, предоставляемого через соответствующие промежутки времени независимо от нагрузки.

Маркерный доступ обеспечивает лучшее использование пропускной способности сети по сравнению с тактированным доступом. Поскольку работа сетей с маркерным доступом и вставкой регистра похожа, то следует ожидать сходства характеристик их функционирования. Видимо, метод вставки регистра несколько лучше, так как он не

требует дополнительных накладных расходов на маркер. Однако в практических реализациях кольцевых сетей со вставкой регистра используются меньшие пакеты, так что соотношение между количеством информации пользователей и накладными расходами оказывается относительно низким.

При оценке пропускной способности кольца наряду со скоростью передачи данных между двумя точками подключения следует принимать во внимание и другие факторы. Наиболее важными из них являются время обработки информации и накладные расходы на работу транспортной службы, обеспечивающей передачу информации между пользователями, терминалами и прикладными программами. Обмен длинными сообщениями обычно происходит под управлением протокола более высокого уровня, который сначала устанавливает соединение без фактической передачи информации пользователя. Итак, некоторое время тратится на передачу данных, не имеющих отношения к пользователям.

В любой сети пропускная способность полностью не реализуется или остается недоступной пользователю. Искаженные передачи в сетях, использующих доступ к шине с состязанием, представляют один из наиболее очевидных примеров таких потерь. В сети с высокой скоростью передачи информации весьма высока вероятность того, что устройство-получатель не будет воспринимать поступающую к нему информацию в течение коротких промежутков времени. Эта невосприимчивость устройства-получателя может быть вызвана рядом обстоятельств:

отсутствием буферов для поступающих данных;
устройство не переключилось из состояния передачи в состояние приема;
предыдущий пакет не обработан;
канал не прослушивается, потому что присоединенное устройство недоступно;
произошел сбой;
устройство не включено.

Такие невоспринимающие входную информацию устройства должны учитываться применяемыми в сети протоколами. В сети Cambridge ring для учета таких устройств в поле подтверждения (отклика) в такте выделяется специальный бит. Невоспринимающее информацию устройство может или совсем пренебречь пришедшим к нему тактом, или выставить в названном поле соответствующий указатель. Другие методы локальных сетей обычно требуют специального протокола более высокого уровня для под-

тверждения получения сообщений или пакетов. Проектирование протоколов высокого уровня можно, конечно, упростить, встроив процедуру выдачи подтверждений в более низкие уровни управления доступом к сети. Простые протоколы высокого уровня, как правило, улучшают пропускную способность сети, уменьшая объем обработки информации в интерфейсах или подсоединенных устройствах.

7.1.2. УСТРОЙСТВО, ПОДКЛЮЧАЕМОЕ К СЕТИ

Устройство, о котором здесь говорится, представляет собой оборудование, связанное с оконечным пользователем. Это может быть терминал, рабочая станция, вычислительная система или какой-то иной комплекс оборудования, который передает информацию в сеть и, как правило, не вовлечен в процесс ее передачи.

В общем случае подключенные к сети устройства тратят какое-то время на обработку пакета информации перед передачей его в сеть или после приема пакета из сети. Типичное сообщение или массив данных слишком велики для обычного пакета, передающегося по сети, особенно в случае тактированного доступа к кольцу, а также для колец со вставкой регистра и передачей маркера, поскольку для их работы требуются специальные электронные схемы и сдвиговые регистры. Размер пакета в сетях с доступом к шине с состязанием имеет менее жесткие ограничения, хотя слишком длинные пакеты одного пользователя могут вызвать неоправданно большие задержки в предоставлении доступа другим пользователям. Итак, сообщение, предназначенное для передачи, должно быть предварительно разделено на фрагменты, соответствующие размеру использующихся пакетов. Каждый пакет должен иметь заголовок с адресом устройства-получателя и, может быть, адресом программы или терминала, подсоединенного к этому устройству. Это необходимо в тех ситуациях, когда может быть несколько адресатов, связанных с одним устройством (например, в случае мультипрограммных ЭВМ и мультиплексоров на несколько терминалов).

После того, как пакет подготовлен к передаче, он должен быть поставлен в очередь следом за другими пакетами, ожидающими передачи. Затем интерфейсное устройство сети по мере возможности посылает пакеты в канал.

При приеме пакета от другого устройства его содержимое обычно проверяется с помощью проверочного кода, размещенного в концевике пакета. Если обнаружена хоть

какая-то ошибка, то приходится уведомлять об этом отправителя, запрашивая повторную передачу. Обычно принято просто пренебрегать испорченными пакетами и отправлять подтверждения о приеме только безошибочных пакетов. Отсутствие подтверждения будет неявно означать запрос на повторную передачу. Если в самом пакете отсутствуют ошибки, следует проверить и его порядковый номер, с тем чтобы обнаружить теряемые пакеты. Все сообщение целиком собирается из отдельных частей. Если через интерфейсный модуль к сети получают доступ несколько оконечных устройств или программ, то пакеты или сообщения должны направляться соответствующему адресату.

Если требуется обеспечить выполнение каких-то других функций, могут понадобиться дополнительные уровни протоколов. Например, необходим обмен управляющей информацией между терминалом и главной ЭВМ с учетом особенностей данного терминала. Пользователь терминала должен объявить, какого рода обслуживание ему требуется, а средства сетевого обслуживания должны проверить, известен ли им этот пользователь и можно ли предоставить ему доступ к сети. Число выполняемых задач зависит от конкретной сети и области ее применения. Все подобные функции связаны с обменом служебной информацией, который предшествует этапу передачи информации пользователей.

7.1.3. ОКОНЕЧНЫЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ

Для терминального пользователя определяющим фактором эффективности сети является длительность отклика. Длительность отклика складывается из времени реакции прикладного или сервисного процесса, к которому пользователь имеет доступ, из времени реакции самой сети и времени работы протоколов, которые гарантируют, что надлежащий пользователь получает доступ к требуемой информации, принимает сообщения в соответствующем порядке и т. д. Для самой сети информация — это последовательности бит, следующие друг за другом и не обладающие каким бы то ни было смыслом.

Разные классы оконечных пользователей требуют различного качества услуг. Пользователь за терминалом обычно требует быстрого ответа на свои запросы. Поскольку реакция обычного терминала невысока (его скорость не превышает нескольких сот бит в секунду), тот факт, что сеть может передавать несколько миллионов бит в секунду, может показаться несущественным. Для пользователя

важнее отправить сообщение как можно быстрее. А для получателя важно быстро ответить. Высокая скорость передачи данных в сети нужна в том случае, когда сетью пользуется несколько сот терминалов. Если сеть или ее канал должны поддерживать меньшее число терминалов, то скорость передачи данных может быть меньше. Это одна из причин, почему для сетей с передачей немодулированных сигналов, использующих один кабель, нужна высокая скорость передачи данных. В системе с передачей модулированных сигналов при использовании частотного уплотнения часто можно выделить такое количество сравнительно низкоскоростных каналов, которое соответствует количеству подключаемых устройств. И такая сеть может поддерживать такое же, если не большее число устройств, как сеть с передачей немодулированных сигналов, в которой используется кабель.

С другой стороны, вычислительной системе, работающей с файлом на удаленном устройстве или на другой вычислительной системе, требуется совершенно другой род услуг сети. Файл может быть очень большим. Чем быстрее его удается переслать, тем скорее высвободятся ресурсы системы-отправителя и системы-получателя. Очевидно, что в таких прикладных задачах требуется высокая скорость передачи данных между двумя точками подключения к сети, хотя быстрота ответной реакции систем здесь менее важна.

Некоторые системы, управляющие производственными процессами, требуют быстрой реакции в сочетании с высокой скоростью передачи. Это необходимо в ситуациях, где имеется взаимосвязь между устройствами, осуществляющими контроль за процессом, и устройствами, занятыми обработкой информации. При обнаружении каких-то отклонений от нормальных условий протекания процессов контролирующему устройству может понадобиться передать сообщение другому устройству, которое ответственно за принятие соответствующего решения.

Все оконечные пользователи или элементы прикладного программного обеспечения имеют свои требования к эффективности функционирования сети.

7.1.4. ТИПЫ ОШИБОК И ЧАСТОТА ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

Ошибки, возникающие в сетях при передаче пакетов, можно разделить на следующие типы.

Искажение информации. Информация в пакете искажается во время его передачи из-за шумов или в резуль-

тате конфликта с другими пакетами. Шум в канале — общая проблема для всех сетей, хотя в локальных сетях уровень шумов значительно меньше, чем в крупномасштабных сетях. Искажение пакетов в результате конфликтов характерно лишь для широковещательных сетей, на базе которых в основном и создаются локальные сети с методом доступа CSMA. Для обнаружения конфликтов не требуется особых приемов, поскольку контроль ошибок в протоколах, подобных высокоуровневой процедуре управления каналом передачи данных HDLC, как правило, превосходно справляется с этой задачей.

Потеря пакета. Пакеты могут «теряться» в любой сети с коммутацией пакетов, если содержимое адресного поля изменяется под воздействием шумов. Тогда такой пакет или доставляется по неверному адресу, или уничтожается. В локальной сети пакет может игнорироваться всеми устройствами, если устройство, адрес которого указан в заголовке пакета, не следит за передачами в канале. В общем случае в протоколы более высокого уровня встраивается процедура выдачи подтверждений, которая либо требует отправления подтверждений о получении каждого отдельного пакета, либо обнаружения всех нарушений последовательности номеров пакетов.

Дублирование пакетов. Если подтверждение о приеме пакета потеряется, то отправитель будет считать, что пакет или не был принят, или в нем была обнаружена ошибка. Поэтому отправитель может послать тот же пакет повторно [1]. Большинство протоколов включают процедуры обнаружения и уничтожения дубликатов пакетов.

Нарушение последовательности. Если сообщение состоит из нескольких пакетов и хотя бы один из них теряется при передаче, то будет нарушен порядок номеров принимаемых пакетов. Обычно первоначальный порядок в последовательности пакетов восстанавливается с помощью специальных программных средств.

Большинство этих ошибок обрабатывается с помощью протоколов более высокого уровня, чем уровень протокола доступа к локальной сети. В локальных сетях ошибки при передаче возникают довольно редко. Поэтому методы борьбы с ошибками могут быть грубыми и при этом давать хорошие результаты.

Такой простой, но весьма эффективный метод применен в сети Cambridge ring. Длина тактов в сети мала, а

---

[1] Это происходит после «тайм-аута» на ожидание подтверждения отправителем пакета. — *Прим. перев.*

повторители, использующиеся для регенерации сигнала и обеспечения точек доступа к каналу, расположены близко друг к другу. В конце такта имеется бит четности, проверяемый каждым из повторителей. Повторитель фактически не пересылает принятый им бит четности, а выставляет свой собственный, который вычисляется им в процессе побитового приема такта и передачи его следующему повторителю. Если вычисленный бит четности не совпадает с принятым, то значит такт содержит ошибку. Следующий пустой такт, попавший к этому повторителю, используется им для передачи мониторной станции сообщения об ошибке. Таким образом, монитор может выявить те участки кольца, которые порождают ошибки. Естественно, такт, прибывший по адресу назначения (если, конечно, адресное поле не было искажено), будет содержать ошибку. Протокол более высокого уровня, используемый в сети Cambridge ring, обнаруживает ошибки в пакетах, структура которых соответствует протоколу HDLC. Это — протокол базисного блока. Данный метод является стандартным.

7.1.5. ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ ДОСТУПА К СЕТИ

Сеть может очень быстро передавать информацию из одного места в другое при низкой частоте возникновения ошибок. Однако для оконечного пользователя это не имеет значения, если у него нет возможности получить доступ к сети тогда, когда ему это нужно. В сетях, построенных как совокупность двухточечных каналов, соединяемые узлы в определенные промежутки могут оказаться перегруженными, что резко усложняет работу транспортной службы. Перегрузка свойственна сетям, в которых каналы и коммутирующие устройства разделяются между всеми пользователями. В общем случае максимальная пропускная способность сети определяется максимумом трафика, который может обрабатываться сетью, а не объемом информации, которую пользователи могут выдать для передачи.

Локальные сети предоставляют средства передачи информации для достаточно большого числа потенциальных пользователей. Поэтому в сети могут возникнуть временные перегрузки.

Может оказаться, что подключенное к сети устройство не сразу передаст возникшую у него информацию, что связано с целым рядом причин. Укажем наиболее важные из них.

Сетевой интерфейс. Устройство или часть оборудования, обеспечивающие доступ к сети, могут работать в одно время только с ограниченным числом подсоединенных устройств, даже если фактически подсоединено большее число пользовательских устройств или программных модулей. Кроме того, емкость буферной памяти в интерфейсе также ограничена. К тому же при использовании некоторых методов, прежде чем очистить буфер, нужно ждать возвращения отправленного пакета или подтверждения.

Метод доступа. Задержки доступа, как правило, являются следствием перегрузки сети. Однако тем самым регулируется нагрузка в сети и предотвращаются сильные перегрузки. Недостатки используемых в настоящее время методов доступа обычно пользователем не замечаются, за исключением тех случаев, когда наблюдается перегрузка сети в целом. Если интенсивность генерирования информации становится ниже уровня, соответствующего пропускной способности сети, перегрузки не возникают. Методы доступа в кольцевых сетях работают удовлетворительно. Большая нагрузка на сеть будет замедлять сквозную передачу информации от одного оконечного пользователя к другому, если каждому из пользователей предоставляются равные возможности доступа. Однако и эта скорость передачи данных будет выше той, на которую рассчитано большинство подключаемых к сети устройств. В общем, нельзя сказать, что сам по себе метод доступа может привести к заметным задержкам в предоставлении доступа к сети оконечному пользователю.

Протоколы. Для обеспечения обмена информацией между двумя оконечными пользователями или прикладными программами необходим некоторый протокол, гарантирующий упорядоченный и корректный поток данных между ними. Естественно, чем сложнее будет такой сквозной протокол, тем больше времени требуется для выполнения его функций. Контроль ошибок, проверка последовательности обмена данными и управление потоками данных[1] могут занимать значительное время.

7.2. МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

Надежность определяет способность данной сети или системы действовать необходимым образом. Локальная

[1] Здесь под управлением потоком данных подразумевается согласование скоростей работы отправителя и получателя данных и ограничение нагрузки на сеть на сквозном (транспортном) уровне. — *Прим. перев.*

сеть может включать большое число пользователей, каждый из которых заинтересован в правильном выполнении сетью некоторого объема работы. Поэтому в сетях обычно используются специальные методы, обеспечивающие высокую степень надежности.

Надежность влияет на доступность сети, то есть на отношение времени, в течение которого сеть работает, ко времени, в течение которого она не работает. Сеть может и не выйти совсем из строя при сбое, но сбой способен понизить пропускную способность или вызвать увеличение частоты появления ошибок, или ухудшить качество обслуживания. Мера доступного снижения качества обслуживания зависит от требований различных пользователей. Если сеть становится хуже из-за снижения скорости сквозной передачи данных, то на одиночного пользователя это может и не оказать заметного влияния несмотря на то, что полезная пропускная способность сети может значительно уменьшиться. Снижение качества сети становится заметным лишь при высокой нагрузке.

В большинстве локальных сетей любой приемопередатчик, повторитель или другой интерфейс обычно осуществляет доступ к сети и использует временно́е уплотнение (если оно используется) независимо от других устройств сети. Так что если одно из устройств получает доступ к сети медленнее, чем все другие устройства, оно обычно не может нанести ущерб работе остальных устройств. Устройство, передающее данные со скоростью, отличающейся от скорости других устройств, будет нарушать работу сети в целом, так как эти данные не будут восприниматься другими устройствами. Некоторые сети, особенно кольцевые, в таких ситуациях становятся неработоспособными. В других сетях некорректно работающее устройство просто не сможет взаимодействовать с другими устройствами, хотя вся остальная сеть будет работать обычным образом. Эта ситуация характерна для сетей с передачей немодулированных сигналов, разделяющих общую шину и использующих метод доступа CSMA или ему подобные.

В отдельных устройствах возможны различные сбои, которые могут влиять на работу всей локальной сети. С такими случаями приходится сталкиваться в кольцевых сетях, в которых повторители или другие устройства играют активную роль в передаче информации. Если одно из таких устройств откажет, то нарушится процесс прохождения потока данных через это устройство. Поэтому для того, чтобы сеть продолжала работать, пусть не столь эффективно, приходится разрабатывать различные методы

повышения надежности сети. Перечислим наиболее типичные методы.

Независимые источники питания для повторителей. Сам по себе повторитель является, скорее, частью сети передачи данных, чем частью подключенного к сети устройства. Следовательно, целесообразно сделать повторитель как можно более независящим от устройств оконечного пользователя. Одной из мер увеличения независимости может быть автономность питания повторителей относительно питания подключенных к сети устройств, благодаря чему последние можно включать, отсоединять от разъема и так далее, не влияя на работу сети. Питание к повторителю может подводиться непосредственно из кабелей, используемых для передачи информации. В таком случае для сети в целом предусматривается один или более источников питания, которые всегда включены, когда сеть работает.

Обход повторителя при исчезновении у него питания. При другом подходе в повторитель встраивается переключающее реле. Когда питание пропадает, это реле коммутирует канал передачи данных в кольце так, что информация не проходит через данный повторитель. В этом случае повторитель может питаться от того же источника, что и подключенное к сети устройство.

Может показаться, что этот способ решает проблему бесперебойной работы кольца независимо от состояния подключенных устройств. Если в повторителе возникают сбои, его можно отключить, и кольцо возобновит работу, хотя устройства, включаемые в сеть через отказавший повторитель, не смогут участвовать в обмене информацией. Однако здесь имеется ряд трудностей. В большинстве кольцевых сетей повторители располагаются близко друг к другу для того, чтобы регенерировать сигнал до того, как его уровень уменьшится или он будет искажен в передающей среде. В случае обхода повторителя расстояние между двумя смежными работающими повторителями на данном участке увеличивается. При обходе двух смежных повторителей дистанция между работающими повторителями увеличивается еще больше. Следовательно, этот метод не очень подходит для сетей, в которых повторители должны размещаться близко, а также там, где устройства часто отключаются.

Сети на основе шины с передачей модулированных сигналов и доступа с состязанием, в которых все устройства делят между собой один и тот же канал, не нуждаются в повторителях в такой степени, как кольцевые сети. Исключение составляют случаи, когда соединяются два отдель-

ных сегмента шины. Оборудование пользователей соединяется с шиной через интерфейсные устройства и приемопередатчики. Если одно из этих устройств откажет, то пострадают лишь те пользователи, которые подсоединены к нему непосредственно. Интерфейс или приемопередатчик могут влиять на работу сети в целом только тогда, когда их сбой приводит к передаче непрерывного сигнала или неверных пакетов. Решение в этом случае очень простое: такой элемент сети отключается.

В сетях с передачей модулированных сигналов используются те же методы доступа и модемы, что и в обычных системах передачи данных, следовательно, и по надежности они близки. В сеть легко встроить удаленные диагностические устройства, с помощью которых управляющая программа (супервизор) сможет из одного места проверять состояние всех интерфейсов сети. Повторители, усилители, разветвители, врезки и кабели, применяемые в сетях с передачей модулированных сигналов, в общем те же, что и стандартные изделия для кабельного телевидения, которые изготавливаются так, чтобы они были долговечны и могли работать при тяжелых условиях эксплуатации.

7.3. КОНТРОЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

В традиционных сетях передачи данных, как правило, имеется специальное мониторное устройство, следящее за работой сети в условиях нормальной эксплуатации. Иногда мониторные функции успешно выполняются одним из процессоров, имеющихся в сети.

Часто о необходимости мониторной системы вспоминают лишь после того, как сеть установлена и даже проработала некоторое время. И если после этого организация решает расширить сеть или увеличить нагрузку на нее, она должна выяснить типичные для этой сети потоки информации и нагрузку. Иногда сеть на практике работает не так, как ожидают разработчики. Чтобы выяснить причину, необходимо проконтролировать процесс информационного обмена.

Необходимость в контроле за работой сети и измерении отдельных ее параметров должна выявляться до того, как сеть будет построена. Это относится и к локальным сетям, хотя мониторные функции для них могут не совпадать с принятыми в крупномасштабных сетях из-за высокой скорости передачи данных и потому, что локальные сети размещаются на ограниченной площади. Опыт показывает, что в локальных сетях частота возникновения оши-

бок, как правило, значительно меньше, чем в других сетях передачи данных. Кроме того, отказы в каналах возникают реже, а ширина полосы пропускания — больше, что в большей степени отвечает запросам пользователей. В локальных сетях счета за пользование сетью редко предъявляются непосредственно пользователям, хотя это возможно при использовании каналов для доступа к другим (чужим) системам.

Итак, от монитора локальной сети требуется, в первую очередь, измерение параметров, которые позволяют убедиться в правильной работе сети, а не получение статистических данных об информационном обмене с целью предъявления счетов пользователям. Обычно интерес представляют следующие характеристики.

Нагрузка. Несмотря на то, что максимальная пропускная способность большинства локальных сетей кажется настолько значительной, что может удовлетворить любым текущим требованиям со стороны пользователей, имеет смысл измерять нагрузку в сети, особенно если планируется подключение к ней новых устройств или выполнение дополнительных прикладных задач. Функционирование некоторых сетей резко ухудшается даже при неполной нагрузке. Поэтому рекомендуется проводить измерения для того, чтобы найти эти критические точки нагрузки.

Сведения о трафике. Полезно знать, какие объемы информации передаются между различными устройствами сети, какие предназначаются для внешних сетей и сколько пакетов пришлось передавать повторно из-за ошибок или из-за того, что устройство-получатель не приняло отправленные ему данные. Если доступ к внешним сетям осуществляется через локальную сеть, тогда следует измерять характеристики устройств, работающих с внешними каналами, и количество передаваемой информации, чтобы предъявить счета соответствующим пользователям.

Сбои. Сбои в локальной сети могут возникать в устройствах, посредством которых осуществляется доступ к сети, в повторителях, приемопередатчиках, модемах и, что реже, в самой среде, через которую передается информация (включая кабели и разъемы). Сети с передачей модулированных сигналов используют также ретранслятор, который принимает и вновь передает все сигналы по разным кабелям или на различных частотах. Мониторное устройство должно обнаруживать те компоненты сети, которые вышли из строя или ухудшают качество обслуживания сетью. Метод, использованный в реализации сети Cam-

bridge ring, может служить одним из примеров применения монитора для обнаружения ошибок в повторителях. Этот метод описывался ранее. В сетях с шинами не обязательно, чтобы повторители или приемопередатчики явно сообщали об ошибках, поскольку сам монитор может прослушивать все передачи в канале.

Узкие места. В первых вычислительных сетях, где одиночные каналы связывали между собой отдельные процессоры, некоторые из каналов связи подвергались бо́льшим нагрузкам, чем другие. Это особенно важно тогда, когда один из таких каналов используется несколькими вычислительными системами. В таких случаях перегрузка канала может заблокировать все процессоры, которые он связывает. В большинстве локальных сетей используется разделяемый канал. Поэтому существует только один канал, который может оказаться узким местом. Между тем, в сетях с передачей модулированных сигналов работает несколько каналов, а узким местом может стать один из них, в то время как другие останутся сравнительно свободными. Если такая ситуация возникает часто, имеет смысл перераспределить часть трафика между каналами. Узкие места в локальных сетях должны чаще всего проявляться в интерфейсных устройствах, применяемых для связи с сетью отдельных ЭВМ, терминалов и рабочих станций. Часто одно интерфейсное устройство работает как терминальный концентратор, и если в один и тот же момент большое число терминалов пытается переслать информацию, может возникнуть перегрузка этого устройства. Из удаленной точки трудно следить за перегрузкой с помощью монитора, хотя интерфейсное устройство может само осуществлять некоторые необходимые измерения и сообщать об этом монитору как можно чаще.

Из-за высоких скоростей передачи данных в локальных сетях трудно возложить функции монитора, анализ и хранение результатов измерений сетевого трафика на одно устройство, особенно если сеть работает при полной нагрузке. Поэтому существенное значение приобретает разработка метода, который позволил бы делать представительную выборку трафика или же следить лишь за некоторыми особыми видами информации. Работа монитора локальной сети, как и работа мониторных устройств других типов сетей, не должна влиять на передачу потоков данных. Некоторые мониторы имеют средства для исправления ошибок. Одним из наиболее известных примеров может служить монитор в сети Cambridge ring. Чтобы проверить состояние сети или какой-то ее части, мониторы мо-

гут использовать свободные от передач интервалы времени для отправки диагностических сообщений.

В дополнение к обычным функциям монитор может выполнять функции имитатора трафика для анализа максимальной пропускной способности. Имитатор трафика, возможно, не может имитировать любое из реальных условий работы сети, тем не менее это полезный инструмент, который целесообразно использовать при тестировании, проектировании или настройке сети. В частности, может потребоваться моделирование каких-то особых условий в сети. Эти условия могут быть легко воспроизведены или изменены с помощью имитатора. Такие исследования невозможно провести в условиях нормальной эксплуатации.

Использование мониторов и имитаторов трафика позволяет проектировщику или администратору сети прогнозировать ее эксплуатационные качества и оценивать определенные особенности ее архитектуры. Если сеть потенциально обладает дополнительными возможностями, то их следует сначала подвергнуть испытаниям и оценить воздействие на работу сети, прежде чем будет принято решение об их внедрении в окончательный вариант сети.

7.4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И МОДИФИКАЦИЯ СЕТИ

Очень редко установленные вычислительные системы сохраняют свой первоначальный вид в течение длительного времени. Пользователи обнаруживают, что система либо работает не так хорошо, как ожидалось, и оказывается, имеются другие пути организации ее работы, либо что она может быть полезной в решении незапланированных задач. В сетях это проявляется особенно ярко. Как правило, пользователям требуются более высокие скорости обработки и передачи данных, потому что им приходится работать с объемами информации, которые превышают первоначально запланированные, или же потому, что предоставляемое сетью быстродействие их не устраивает. Пользователи зачастую обнаруживают, что сеть является эффективным средством, и требуют подключения к ней большего числа устройств, чтобы применять ее в других целях. В результате этого доступная пропускная способность сети становится недостаточной. Могут быть введены и такие новые устройства, которым нужны другие интерфейсы.

Первые локальные сети создавались с намерением добиться пропускной способности, достаточной для удовлетворения потребностей в связях ЭВМ и устройств в сравнительно небольшом помещении. Подразумевалось, что по-

требуется связывать между собой лишь обычные цифровые устройства. Между тем цифровые данные представляют собой всего лишь один из видов информации, которую можно передавать по сети связи. Кроме цифровых данных, имеется речевой трафик в аналоговой или цифровой форме, факсимильная информация и, возможно, визуальная информация. Многие из разработанных локальных сетей не годятся для передачи аналоговых сигналов любого вида или же их пропускная способность не позволяет осуществлять передачу в цифровой форме большого числа телефонных переговоров. Другие сети без затруднений справляются с такими задачами и, следовательно, такие сети легко поддаются совершенствованию в смысле повышения пропускной способности.

В общем случае локальные сети имеют очень простую топологию при минимальных затратах кабеля. Кабель зачастую прокладывается внутри здания или на небольшом участке как можно ближе к тем местам, где предполагается установить устройства, использующие сеть. Таким образом, необходимость в удлинении кабеля или замене уже существующего кабеля сводится к минимуму. В случаях, когда по некоторой причине требуется изменить топологию сети, возникают обычные трудности повторной трассировки кабелей: нужны новые отводы кабеля, самые удобные пути прокладки уже заняты, необходимо разрезать кабель и подсоединить новые секции и т. д. Стоимость установки любого кабеля может зачастую превышать стоимость самого кабеля.

Некоторые из методов организации локальных сетей особенно чувствительны к чрезмерной длине кабеля. Например, сеть Cambridge ring, которая использует кабель из витых пар, лучше всего работает тогда, когда повторители расположены очень близко. Большинство других кольцевых сетей предъявляет аналогичные требования. Сеть Ethernet и другие шинные сети с передачей немодулированных сигналов имеют такую максимальную длину кабеля для всей сети, которая зависит от размера пакета, скорости передачи и от используемого метода передачи сигнала. Сети с передачей модулированных сигналов накладывают незначительные ограничения на максимальную пропускную способность, длину кабеля или топологию при условии, что в сети нет замкнутых петель.

В общем, локальные сети после того, как установлены, с трудом поддаются совершенствованию в смысле дополнительного повышению скорости или пропускной способности. Например, если сеть со скоростью 10 Мбит/ с не

удовлетворяет пользователя, то для повышения скорости нужно будет поменять все приемопередатчики, контроллеры и повторители.

Увеличение скорости в сети на основе шины, в которой используется доступ с состязанием и передачей немодулированных сигналов, сильно зависит от минимального размера пакета, который может быть передан, и общей длины шины. Как уже объяснялось, чем выше скорость передачи данных, тем больше должен быть минимальный размер пакета и тем меньше должна быть общая длина шины для того, чтобы все устройства могли воспринимать передачу до того, как отправитель закончит ее, и чтобы можно было обнаружить конфликты пакетов.

Большинство кольцевых сетей работает в режиме передачи немодулированных сигналов, и увеличение скорости вызывает необходимость замены всех повторителей в кольце. Увеличение скорости позволяет циркулировать бóльшим по размеру пакетам или большему числу тех же пакетов. В некоторых кольцевых сетях для передачи применяются пакеты фиксированной длины, в других — пакеты переменной длины. Изменение длины пакетов в сетях первого типа серьезно сказывается на пользовательском оборудовании. Между тем длина сети, построенной по принципу кольца, может меняться без особых затруднений, не оказывая сколь либо заметного воздействия на характеристики передачи данных. Бóльшая длина кольца означает, естественно, что информации потребуется больше времени на совершение оборота вокруг кольца, но зато могут быть получены немалые выгоды за счет использования большего числа пакетов или же пакетов большей длины. Изменение метода доступа, используемого в кольце, например, замена тактированного доступа на метод вставки регистра или на доступ с передачей маркера, может быть выполнено сравнительно просто. Оно зависит в основном от внутренней структуры самих повторителей. Используемая для доступа логика также требует изменения. Например, Лаборатория вычислительной техники Кембриджского университета произвела переход с метода вставки регистра на ныне используемый метод тактированного доступа. Повторители в то время были самодельными и состояли из дискретных элементов, так что переход от одного метода к другому был сравнительно несложен.

У сетей с передачей модулированных сигналов широкая полоса частот. Обычный трафик данных между устройствами внутри одного помещения чаще всего не использует полностью эту полосу. Если в сети помимо этого выпол-

няется прикладная задача, которая требует широкую полосу частот, тогда полоса, доступная другим задачам, будет уменьшена. Например, для канала цветного телевидения, работающего в реальном масштабе времени, как правило, требуется ширина полосы 6 ... 8 МГц для передачи в одном направлении, от передатчика к приемникам. Дуплексный канал требует удвоения ширины полосы. Хотя необходимость в большом числе каналов цветного телевидения в локальной сети мала, совершенствование методов учрежденческой работы может очень быстро изменить существующее положение.

Рассматривая только передачу данных, можно заметить, что самыми важными факторами здесь являются конструкция и быстродействие модемов, используемых в сетях с передачей модулированных сигналов. В настоящее время имеются модемы, которые могут работать в локальной сети со скоростями 2 Мбит/с. Однако до сих пор потребность в таком оборудовании остается низкой, а стоимость их относительно велика. Большинство пользователей работает с низкоскоростными устройствами, использующими каналы со случайным множественным доступом (метод CSMA/CD). При этом обслуживается ограниченное число пользователей. Если требуется увеличение числа пользователей в сети с модуляцией сигналов, то можно легко выделить большее число каналов. Каждый из них работает на своей частоте, следовательно, они фактически независимы друг от друга. Увеличение нагрузки на один из каналов не влияет на пропускную способность других. Они могут работать с различными скоростями и использовать различные методы доступа.

Кроме того, легко увеличить длину сети с передачей модулированных сигналов. Когда уровень сигнала падает ниже допустимой величины, его можно усилить с помощью обычных усилителей, используемых в кабельном телевидении. Поэтому общая длина сети и площадь, охватываемая ею, могут быть очень велики. Когда каналы работают в режиме с состязанием между пользователями, используя, например, метод доступа CSMA/CD, на длину кабеля накладываются ограничения. Они связаны со скоростью передачи данных и длиной пакетов также, как и в шинных сетях с состязанием и передачей немодулированных сигналов.

Сети с передачей модулированных сигналов не столь чувствительны к электрическим наводкам и характеристикам линии связи, как высокоскоростные сети с передачей немодулированных сигналов. Таким образом, первые

могут работать в непосредственной близости от электрооборудования, где большинство других типов сети оказываются не работоспособными. В кабеле могут делаться врезки, он может делиться на два или большее число трактов, благодаря чему сравнительно легко осуществить прямое присоединение к уже проложенному кабелю новых устройств или новых ответвлений.

В заключение можно сказать, что если в установленную сеть предполагается вносить значительные изменения, которые коснутся ее структуры и длины, и если она должна будет выполнять различные дополнительные функции, то лучше всего выбрать сеть с передачей модулированных сигналов. Первоначальная стоимость будет выше, чем в случае шинных сетей с передачей немодулированных сигналов или кольцевых сетей, но пользователь получит более гибкую систему, бóльшую максимальную пропускную способность и возможность расширять область применения. Эти преимущества необходимо сравнивать с недостатками, которые связаны с более сложными интерфейсами и с тем, что вся сеть зависит от ретрансляционного устройства, которое принимает все передачи других устройств и вновь передает их по другому кабелю или на других частотах. Следует признать, что кольцевые и шинные сети с передачей немодулированных сигналов полностью подходят для большинства целей локальной передачи данных и могут работать с очень большим количеством устройств без снижения качества предоставляемых услуг.

8. ПРИМЕНЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Локальные сети представляют собой существенный шаг в развитии систем для распределенных вычислений и в использовании электронных устройств в учреждениях. Они обладают значительными преимуществами в смысле стоимости и эффективности работы по сравнению с традиционными сетями передачи данных. Более того, локальные сети могут предоставить надежные средства для соединения друг с другом большого числа устройств, чего весьма трудно добиться за разумную цену какими-то иными способами. Большинство локальных сетей легче поддается расширению, чем другие виды сетей. Обычно локальные сети представляют собой всего лишь системы для передачи информации из одного места в другое. Однако пользователи нуждаются в дополнительных услугах, реализация

которых сделала бы сеть более полезной. Возможно, что информацию от устройств локальной сети нужно передавать устройствам, не принадлежащим этой сети. Для этого нужны специальные шлюзы или переходные устройства, через которые можно будет связать данную локальную сеть с другими сетями или с сетью общего пользования.

8.1. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ

В простейшей своей форме вычислительная сеть есть совокупность ЭВМ, терминалов и внешних устройств, связанных друг с другом каналами связи. Прикладные задачи оконечных пользователей отличаются от задач управления сетью и поэтому могут выполняться процессорами, расположенными в различных точках сети. Это — обычная распределенная система обработки. В более ранних разновидностях вычислительных сетей основные вычислительные мощности концентрировались в одном месте, а удаленные пользователи за терминалами использовали сеть связи для доступа к центру обслуживания.

Бóльшая часть вычислительных сетей покрывает географически разнесенные области и использует каналы национальной сети передачи данных. Поэтому может показаться, что такие сети трудно использовать совместно с локальными сетями. Однако более внимательное изучение показывает, что это далеко не так. Большинство вычислительных сетей имеет вид, показанный на рис. 8.1. Здесь каждая ЭВМ обычно обслуживает некоторую группу местных пользователей, располагающих терминалами. Даже на участке, на котором нет ЭВМ (как, например, участок А), терминалы делят между собой одну или несколько арендованных линий или линий общего пользования, соединяющих данный участок с другими участками сети. Обычно в подобных ситуациях терминалы обслуживаются концентратором или мультиплексором.

Итак, если рассматривать один участок, то для подключения терминалов к процессору (или концентратору), к которому в свою очередь подсоединены линии, идущие за пределы данного участка, можно использовать локальную сеть. Таким образом, этот процессор становится частью как локальной сети, так и всей вычислительной сети и выполняет функцию шлюза, преобразуя локальные протоколы и адреса в глобальные протоколы и адреса для информации, передаваемой за пределы данного участка.

Для потоков информации внутри одного участка сеть работает как обычная локальная сеть, возможно, с каки-

ми-то усовершенствованиями, зависящими от выполняемых прикладных задач и от типа применяемого оборудования. В обычной вычислительной сети, например, на участке В (рис. 8.1), вся информация, поступающая с любого терминала, обязательно должна пройти через процессор, к которому этот терминал присоединен, даже если эта информация в конечном счете предназначается другому терминалу или другому процессору. Хотя большинство мини-ЭВМ и терминальных контроллеров вполне могут выполнять функции маршрутизации информации, это может вызвать нежелательные накладные расходы. Локальная сеть позволяет обойтись без специального устройства коммутации и маршрутизации. В локальных сетях кольцевой и шинной структуры отдельные устройства обычно воспринимают все адресованные им сообщения во время передачи по каналам. Здесь не требуется специального коммутационного устройства, поскольку все устройства используют один и тот же кабель. Это один из путей использования локальных сетей для совершенствования существующих вычислительных сетей.

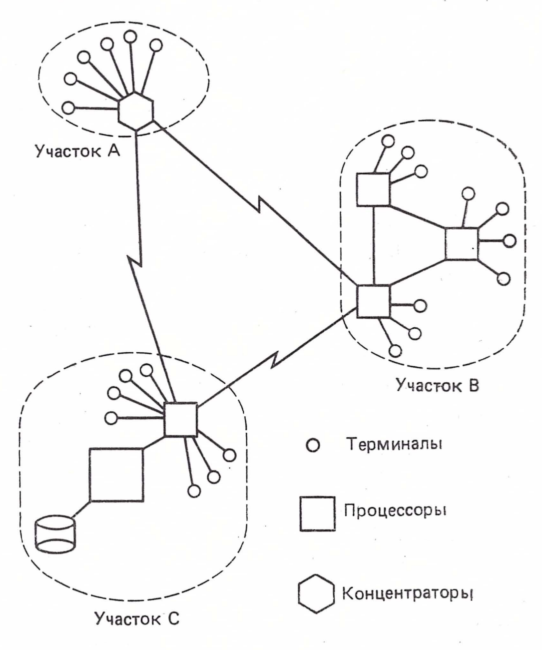


Рис. 8.1. Вычислительная сеть, охватывающая несколько участков

Другая распространенная разновидность вычислительной сети показана на рис. 8.2. Главной особенностью этой сети является взаимозависимость ЭВМ и других устройств.

Типичной областью применения сети может быть завод, где на некоторых этапах производственный процесс управляется отдельными ЭВМ, мониторами, терминалами и кон-

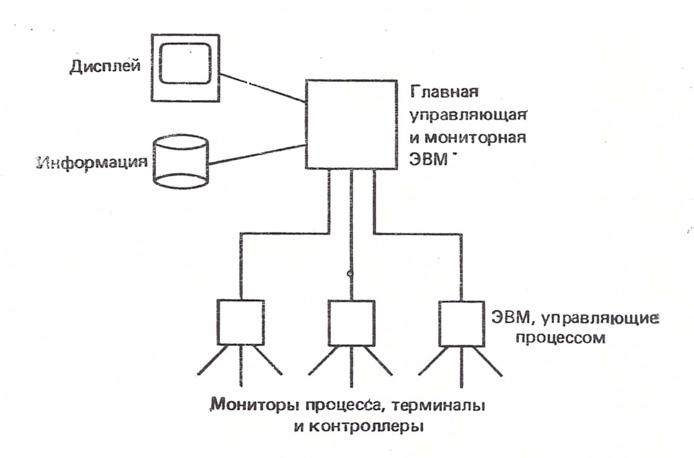


Рис. 8.2. Иерархическая сеть для управления процессом

троллерами. Если происходит сбой в процессе или в устройстве, управляющем этим процессом, то об этом должно быть известно в главном устройстве управления, которое может произвести аварийную остановку производства, сообщить о неисправности супервизору или автоматически передать ответственность за этот процесс другому устройству, если это возможно. Иерархическая сеть, показанная на рисунке, легко может быть преобразована в локальную сеть. Система иерархического управления может быть сохранена, но структуру физических связей в сети можно будет значительно упростить.

Помимо этого локальные сети могут использоваться с целью совершенствования услуг, предоставляемых вычислительными сетями. Поскольку в локальных сетях все устройства непосредственно связаны между собой, что в обычных вычислительных сетях достигается с трудом и при больших затратах, то трудности с адресацией значительно уменьшаются.

Вычислительные сети обычно создаются на основе низкоскоростных систем связи, что затрудняет передачу больших объемов данных между ЭВМ. В системах распреде-

ленной обработки в сети может быть несколько ЭВМ, работающих с файловой памятью большой емкости. Работа с файлом, который хранится в памяти удаленной ЭВМ, может требовать большего числа передач через всю сеть и соответственно медленных ответов на запросы пользователя терминала. Обычным решением этой проблемы является копирование файла во всем его объеме в локальный процессор, а по завершении работы — копирование обновленного файла в удаленный процессор. Эту проблему можно решать с помощью локальных сетей. Они работают с более высокой скоростью, чем обычные сети, и большую часть времени не перегружены. Поэтому можно эффективно работать с удаленным файлом, если процессор, хранящий этот файл, подсоединен к локальной сети. Кроме того, можно передавать файлы по сети значительно быстрее, чем раньше.

Интерфейс с локальной сетью выполняется с помощью одного интерфейсного устройства, которое обычно предоставляет подсоединенному к сети оборудованию пользователя один порт. Однако, если подсоединенное оборудование способно передавать или принимать информацию на высокой скорости, то интерфейс может обслужить несколько портов, хотя на одну ЭВМ обычно бывает достаточно четырех или восьми портов.

Вычислительной системе, обслуживающей некоторое число терминалов, нужно предоставить по одному порту для каждого терминала, а если применяются мультиплексоры, то по порту на каждый мультиплексор. Иными словами, на каждую входную линию требуется один порт. Если ЭВМ обслуживает большое количество линий, то это значит, что требуется множество портов, хотя бо́льшая часть из них в течение почти всего времени не будет использоваться. Локальные сети могут снизить накладные расходы на аппаратное обеспечение, которое требуется вычислительной системе, обслуживающей много терминалов. Это достигается исключением из локальной сети удаленных мультиплексоров.

8.2. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

Вычислительные машины на базе микропроцессоров, встроенных в обычное конторское оборудование, интенсивно внедряются в учреждения и в ближайшие несколько лет будут определять основную область применения локальных сетей.

В последнее время в учреждениях появилось много вычислительного оборудования, в основном, систем обработки текстов. Однако это всего лишь один из примеров, каким образом ЭВМ и микропроцессоры могут улучшить обычную учрежденческую работу. Далее рассматриваются другие примеры автоматизации учрежденческой деятельности. Читатели, интересующиеся подробностями автоматизации учрежденческой деятельности, могут обратиться к [8.1, 8.2].

Бóльшую часть обычных учрежденческих функций можно разделить на четыре основные категории.

Подготовка документов. Составление первоначального варианта документа, печатание на пишущей машинке, внесение изменений, исправлений и размножение окончательного варианта.

Рассылка сообщений. Обычные почтовые услуги (внутри учреждения и вне его), передача телефонограмм, посылка и получение сообщений с нарочным.

Управление информацией. Обработка входящих сообщений, отчетов и т. д., составление планов, ведение личных дневников, сбор и хранение информации, осуществляемые как время от времени, так и непрерывно.

Доступ к информации. Пользование библиотеками, стандартными информационными службами, справочной документацией, базами данных и прочими разновидностями источников информации.

Электронное оборудование, внедряемое в учреждениях, предназначается для решения перечисленных задач и нацелено на оказание быстрой и эффективной помощи работнику учреждения в выполнении рутинных управленческих функций, входящих в обязанности этого работника, высвобождение времени для творческой работы. Трудность, с которой зачастую сталкиваются работники обычного учреждения, — это отсутствие оперативного доступа к информации. На поиски отчета тратится больше времени, чем на то, чтобы прочесть его. Благодаря использованию современных методов обращения с данными решение задачи размещения отчета и его поиска в вычислительной системе намного облегчается.

Еще одна трудность, часто встречающаяся в обычном учреждении, связана с возможностью контакта между работниками с целью получить сведения, обменяться мнениями и т. д. Почта и система передачи сообщений по телефону на основе вычислительной техники могут заметно помочь в этом. Они не могут, конечно, гарантировать, что человек, с которым необходимо встретиться, будет сидеть

за своим письменным столом. Однако разработаны различные способы его оповещения об оставленном для него послании. Если на обычный телефонный вызов никто не отвечает, на учрежденческой телефонной станции может быть реализован автоматический вызов другого номера, например, секретаря. Эта возможность обеспечивается учрежденческими автоматическими телефонными станциями (УАТС). Можно пойти еще дальше на пути к автоматизированному учреждению: если вызываемый номер не отвечает, то вызывающий абонент может оставить централизованной службе короткое сообщение о том, кто пытался дозвониться и по какому поводу. Когда вызываемый абонент возвратится на свое рабочее место, по его запросу электронная служба обработки сообщений известит его о телефонных вызовах и хранящихся сообщениях. Сообщения могут храниться в памяти систем обработки сообщений, принадлежащих самим пользователям. Тогда центральная служба только извещает отсутствовавшего сотрудника о вызывавших его номерах. Ему остается набрать соответствующий номер и выслушать адресованные ему сообщения.

Электронная почта особенно полезна для обмена сообщениями между лицами, работающими в одной организации. Исследования показали, что процент таких сообщений очень высок. Обеспечив всем сотрудникам организации или отдела доступ к рабочим станциям, можно организовать обмен посланиями, который не требует ни бумаги, ни курьеров.

Любая система обмена сообщениями в учреждении предусматривает наличие следующих компонентов.

Рабочая станция — устройство, напоминающее дисплей или терминал ЭВМ, обладающее некоторыми ограниченными возможностями обработки информации. Рабочая станция подключается к сети, состоящей из таких же рабочих станций и других вычислительных устройств. Сеть предоставляет услуги по обмену сообщениями и управлению информацией.

Разделяемые средства. Для повышения качества услуг, предоставляемых отдельным лицам, при минимизации стоимости системы, некоторые сетевые службы и средства разделяются между всеми пользователями. Наиболее часто разделяются печатающие устройства, системы обработки данных, базы данных и большие накопители на магнитных дисках. Сама сеть также представляет собой разделяемый ресурс. В автоматизированном учреждении не только аппаратное, но и программное обеспечение должно раз-

деляться многими пользователями. Например, могут разделяться электронная почта, архивные программы, системы текстовой обработки и т. д.

Доступ к внешним средствам. Многим работникам учреждения требуется доступ к специализированным информационным службам, базам данных, библиотекам, сетям передачи данных и другим системам обслуживания, основанным на вычислительной технике, которые располагаются вне данной организации. Подобные услуги требуются наряду с доступом к сетям связи общего пользования.

Средства связи. Для соединения персональной рабочей станции сотрудника учреждения с другими рабочими станциями и службами необходима сеть связи. Она может основываться на концепции учрежденческой телефонной сети, возможно даже с использованием центрального телефонного коммутатора, или на концепции локальной сети вроде тех, что описываются в настоящей книге.

Как уже упоминалось выше, до сих пор основные усилия направлялись на обеспечение учреждений средствами обработки текстов. Это связано с тем, что достоинства подобных средств по сравнению с традиционными методами подготовки текстов очевидны. Процессоры текстовой обработки могут быть отдельными устройствами, но выгоднее связать их между собой или обеспечить им использование общего быстродействующего устройства памяти на магнитных дисках. Таким образом, документ, набираемый на клавиатуре терминала каким-то одним лицом, сразу же становится доступен целому ряду лиц, которые могут читать этот документ и вносить в него изменения.

Помимо этого в автоматизированном учреждении могут быть предусмотрены следующие виды услуг.

Телекс и телетекс — это две распространенные формы электронной почты.

Факсимильная связь — передача статических изображений, рукописных текстов и т. п. Отличительной особенностью факсимильных изображений являются трудности с их кодированием, поэтому сканирование производится побитно и каждый элемент передается отдельно, а затем изображение восстанавливается получателем.

Информация — базы данных общего пользования, файлы или другие объемы справочной информации, необходимой для конкретной задачи, персональная информация (отчеты, дневники, планы и т. п.).

Электронная почта. Обеспечивается главным образом внутри организации или в пределах данного участка.

Обработка данных. Вычислительные возможности ра-

бочих станций весьма ограничены и зачастую явно направлены на обеспечение поддержки чисто учрежденческих работ. Некоторым сотрудникам может понадобиться доступ к более мощным средствам обработки данных. Такие услуги могут быть предоставлены посредством рабочей станции, функционирующей как терминал ЭВМ.

Телеконференции. Расширение возможностей электронной почты в автоматизированном учреждении может обеспечить средства проведения совещаний и конференций. Эти средства полезны тогда, когда люди, присутствие которых на совещании желательно, часто находятся вне организации, из-за чего трудно организовать встречу, на которую могли бы явиться все.

Локальные сети — важный компонент автоматизации учрежденческой деятельности, поскольку рабочие станции индивидуального пользования должны быть соединены друг с другом и разделять общие ресурсы для эффективной работы системы. Так как количество различных устройств, устанавливаемых в обычном учреждении, оказывается очень большим, то привычная схема построения сети, в которой к центральному процессору через отдельные каналы подсоединяются терминалы и рабочие станции, получается трудной для внедрения и дорогостоящей.

Локальные сети становяться неотъемлемой частью практически любого автоматизированного учреждения. Рядовой служащий учреждения не должен заниматься установкой соединений с другими рабочими станциями или процессорами всякий раз, когда ему требуется сетевое обслуживание.

8.3. ДРУГИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Локальные сети представляют один из многих типов инфраструктур связи, которые могут использоваться для объединения вычислительного оборудования. Главное отличие локальных сетей от других сетей заключается в возможности реализовать такой набор услуг, который нужен данной конкретной группе пользователей. Поскольку сеть располагается на маленькой территории и доступна ограниченному числу пользователей, удается предоставить и специальные виды услуг.

Локальная сеть может использоваться в ряде новых областей применения. Некоторые из них рассматриваются в данном разделе.

Образование. Обучение работе с вычислительной техникой сильно упрощается, если каждому из учащихся

предоставляется возможность самостоятельно накапливать опыт такой работы, а не действовать под непосредственным надзором преподавателя. Микро-ЭВМ идеальны для обучения основам программирования и работы с файлами, так как микро-ЭВМ сравнительно недороги и могут быть выделены каждому учащемуся. Если связать все микро-ЭВМ между собой в одной аудитории, это также даст ряд преимуществ, так как можно будет организовать использование всеми ЭВМ отдельного запоминающего устройства на магнитных дисках большой емкости, а не оснащать каждую микро-ЭВМ собственным набором накопителей на гибких магнитных дисках или какой-нибудь другой внешней памятью. Очевидным вариантом связи микро-ЭВМ является локальная сеть. Устройство с памятью на магнитных дисках или файловая служба, включенная в сеть, может обеспечить ряд дополнительных услуг для пользователей. С помощью файловой службы преподаватель может проверять файлы каждого учащегося и даже просматривать их содержимое на дисплеях. Таким образом, преподаватель со своей рабочей станции может проверять любые из устройств, которыми пользуется обучающийся. Помимо этого преподаватель может демонстрировать объясняемый им метод, и у каждого учащегося на экране дисплея будет воспроизводиться точная копия того, что проделывает преподаватель. В конце занятий рабочие станции могут быть отключены от сети и переданы в другую аудиторию.

Развлечения. Индустрия досуга очень быстро обнаружила потенциальные возможности электронных игр, управляемых микропроцессорами. Локальные сети могут использоваться для связи между такими игральными устройствами, предоставляя, например, двум разным пользователям два отдельных экрана и обеспечивая разделение общих ресурсов памяти.

Локальные сети с передачей модулированных сигналов использовали оборудование, разработанное для кабельного телевидения. Поэтому можно полагать, что методы таких локальных сетей могут быть приспособлены для доступа к центральному вычислительному комплексу, где хранятся различные средства для проведения досуга, такие как газеты и игры. Они могут отображаться на экранах обычных телевизионных приемников.

Кроме того, все локальные сети обеспечивают физическую среду передачи информации, метод управления ее использованием, интерфейс с этой средой, адресацию и маршрутизацию информации, а также управление кана-

лом связи. Последняя особенность сетей позволяет блокам данных циркулировать между устройствами, подключенными к сети. Другие сетевые средства необходимы для того, чтобы обеспечить обслуживание, ориентированное на пользователя. Главная услуга — предоставление пользователю возможности взаимодействия с другим пользователем, терминалом или прикладной программой независимо от их расположения в сети. Пользователю подобное соединение кажется обычной двухточечной линией связи. Некоторым из подключенных к сети устройств может потребоваться такой вид обслуживания, при котором одно устройство обменивается информацией одновременно с несколькими устройствами. Типичным примером является связь ЭВМ с несколькими терминалами. Для других устройств, таких как простой терминал, требуется поддержка не более одного соединения с другим устройством сети в каждый момент. Поэтому должна быть специальная служба, следящая за тем, чтобы уже начавшееся взаимодействие не прерывалось сообщениями или пакетами от других устройств сети.

Не во всех областях применения сетей требуются подобные услуги. Некоторые приложения нуждаются в дейтаграммном обслуживании, когда любое из подключенных к сети устройств имеет право отправить индивидуально адресованные пакеты другим устройствам той же сети, не заботясь об установлении соединения перед началом передачи данных. В таком случае за обработку входящих пакетов отвечает оконечное устройство или некоторый «интеллектуальный» интерфейс. Они же решают, какой именно прикладной программе или отдельному терминалу принадлежит данный пакет.

На основе этих возможностей могут строиться более сложные системы обслуживания.

8.4. ИНТЕГРАЛЬНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

Термин «интегральное обслуживание» означает использование цифровых данных, речи, факсимильной, текстовой и визуальной информации в данной системе. Интегрирование различных видов информации пока не получило широкого распространения, однако положение постепенно меняется.

В организациях и на предприятиях принято устанавливать сеть, которая обслуживает только переговоры по телефону. Каждый телефон может использоваться всего в течение нескольких минут за день, тем не менее между лю-

бым телефонным аппаратом и коммутатором нужен соответствующий кабель. Подобным образом строятся и вычислительные сети с терминалами, хотя их кабели прокладываются зачастую в тех же местах, что и телефонная проводка.

Фирма Hasler в Швейцарии построила свою экспериментальную локальную сеть SILK, где была предпринята попытка объединить телефонный трафик с вычислительным. В проект системы явным образом было заложено разделение одних и тех же кабельных линий между устройствами, работающими с данными, и телефонными аппаратами. Телефонные аппараты этой сети достаточно «интеллектуальны» и могут распознать обращенный к ним вызов с другого такого же аппарата без специального телефонного коммутатора. Каждый такой телефон переводит речь в цифровую форму и передает ее в виде пакетов другому пользователю. Полоса частот, требующаяся для передачи телефонных разговоров, невелика по сравнению с полосой, требующейся для связи ЭВМ, особенно если не передавать паузы в речи. Телефонный коммутатор требуется лишь для связи с внешними сетями, такими, как телефонная сеть общего пользования.

Требования к передаче речевого трафика отличаются от требований к передаче информационного трафика, порождаемого ЭВМ. В частности, для ЭВМ требуется, чтобы весь поток данных передавался без ошибок, а при обнаружении ошибки можно было бы осуществить повторную передачу. Задержки между пакетами длительностью в несколько секунд для ЭВМ или терминала значения не имеют, но они могут раздражать рядового телефонного абонента. Зато человек может воспринимать даже сильно искаженную речь в телефоне и может восстановить небольшую часть пропущенного разговора. В худшем случае можно переспросить собеседника. Таким образом, сеть и ее протоколы, строящиеся для поддержки речевого трафика, должны быть направлены не столько на достижение абсолютной точности, сколько на обеспечение необходимой скорости передачи речевой информации.

Это обсуждение возможности общего разделения сети для передачи речи и цифровых данных проливает свет на некоторые важные особенности интегральных систем передачи информации. Каждый вид информации, который может выгодно разделять одну локальную сеть, отличается своим набором требований. Для передачи факсимильных изображений, например, могут использоваться медленные каналы связи, и любая часть изображения может переда-

ваться и собираться в течение длительного времени, но точность при этом должна быть высокой. Обработка текстов требует от рабочей станции быстрого ответа и возможности быстрого перехода от файла к файлу или от строки к строке внутри файла. Визуальная информация может выдвинуть набор требований — от высокой скорости передачи и недопустимости задержек в случае телевизионных передач в реальном масштабе времени до низкоскоростных передач, когда изображение медленно строится на графическом дисплее. Любая локальная сеть, используемая для интегрального обслуживания, должна работать со всеми различными видами информации, которые могут быть ей представлены, и предпочтительно, чтобы она могла адаптироваться к их различным требованиям.

Кроме интеграции различных видов информации внутри одной локальной сети может потребоваться система, интегрирующая различные сети: локальные и крупномасштабные, частные и общего пользования. Информация, которая переходит из одной сети в другую, попадает под управление другого набора процедур. В сетях могут быть реализованы различные методы разделения пропускной способности или разные скорости передачи данных. Таким образом, необходимо шлюзовое устройство, физически подключенное к обеим сетям и способное работать в обоих режимах.

Проектировать шлюзы достаточно сложно, особенно если характеристики связываемых между собой сетей сильно различаются. Одна локальная сеть зачастую связывается с другой сетью, скорость передачи данных в которой значительно меньше. Поэтому, кроме обычных задач преобразования протоколов и методов доступа, шлюз должен работать на двух сильно различающихся скоростях передачи информации, оснащаться встроенной буферной памятью достаточной емкости и соответствующими процедурами управления потоками с тем, чтобы предупреждать состояние перегрузки информацией, поступающей из более быстродействующей сети.

Проект UNIVERSE [8.3.] связан с разработкой экспериментальной системы для объединения локальных сетей, университетов и других учреждений Великобритании через искусственные спутники Земли. Локальные сети отличаются высокими скоростями передачи данных и минимальными задержками на пути между двумя точками сети. Однако в сетях со спутниковыми каналами имеются большие задержки в передаче, хотя сама скорость передачи данных может быть высокой. Проект UNIVERSE по-

зволит изучить трудности, возникающие при соединении двух сетей различного типа и исследовать функции необходимых шлюзов.

8.5. ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В этом разделе дан обзор некоторых достижений в методах построения локальных сетей. Локальные сети частично являются результатом революции в производстве дешевых интегральных схем, благодаря которой стало возможным изготовление сложного оборудования для передачи данных при умеренной их стоимости. Наивно считать, что дальнейшее повышение сложности и удешевление электронного оборудования уже невозможно. Локальные сети продолжают развиваться по тем направлениям, которые указаны уже имеющимися системами, но в процессе их развития расширится набор используемых средств и увеличится скорость передачи.

Методы доступа к существующим локальным сетям делятся на три основные категории: методы, основывающиеся на множественном доступе с контролем несущей (CSMA) для шин с передачей немодулированных сигналов; методы тактированного доступа и методы вставки регистра для кольцевых сетей. Сети с передачей модулированных сигналов используют сочетание известных методов частотного уплотнения с разделением широкополосного канала на ряд узкополосных каналов совместно с методом доступа CSMA/CD в этих узкополосных каналах. Все эти методы имеют одну особенность: их относительно легко реализовать с помощью стандартных электронных компонентов, а получающиеся в результате интерфейсные устройства оказываются не слишком дорогостоящими.

Метод передачи маркера легко реализуется в кольце, поскольку он похож на хорошо отработанный метод вставки регистра. Несколько фирм-производителей вычислительных систем уже применили кольцевые сети с передачей маркера для организации локальных сетей связи. Для шинных сетей концепция передачи маркера в принципе может быть реализована, однако на практике это вызывает ряд трудностей. Эти трудности сводятся к тому, что устройство, подсоединенное к шине, может быть включено или выключено. Поэтому нельзя гарантировать, что устройство получит переданный ему маркер. Если маркер не будет воспринят данным устройством, то он не попадет и к следующему устройству. Необходима какая-то процедура, которая создавала бы толь-

ко один новый маркер в случае потери старого маркера. Если данное устройство до сих пор не получило маркера (например, потому, что оно было выключено), то нужно реализовать какой-то метод посылки запроса на передачу маркера данному устройству. В результате получится сложная процедура, для выполнения которой потребуется весьма «интеллектуальное» интерфейсное устройство. Тем не менее, сам метод передачи маркера перспективен, потому что хорошо спроектированная шина с маркерным доступом будет чрезвычайно эффективной. Она позволит пользователям справедливо разделять пропускную способность шины без обычных потерь времени на устройства, не занятые передачей. Шина с маркерным доступом может быть построена так, чтобы обеспечить преимущественный доступ и пользование сетью для тех устройств, которым необходим приоритет передачи. Ни один из других методов построения шинных сетей с передачей немодулированных сигналов не обладает такими преимуществами. Но для того, чтобы маркерный доступ для шины стал практически осуществим, нужны соответствующие недорогие интерфейсы, для построения которых могут понадобиться специально для них изготовленные однокристальные интегральные микросхемы, реализующие протоколы доступа к передающей среде.

Сети с передачей модулированных сигналов также будут совершенствоваться, потому что в существующих реализациях бо́льшая часть рабочего диапазона частот остается неиспользованной. Массовое производство модемов специальной конструкции для таких систем приведет к заметному снижению их стоимости.

Волоконно-оптические кабели позволяют расширить рабочий диапазон частот, улучшить характеристики передачи и увеличить длину передающей среды по сравнению с обычными кабелями. Основные проблемы в применении волоконно-оптических кабелей в локальных сетях связаны с их высокой ценой и с трудностью подсоединения к такому кабелю. Их стоимость наверняка понизится по мере роста их применяемости и упрощения монтажа. Разрабатываются разные способы врезки в волоконно-оптический кабель, что в недалеком будущем приведет к упрощению подсоединения к ним.

Еще одним обстоятельством, которое способно оказать большое влияние на локальные сети, является разработка более совершенных локальных телефонных станций, в частности, цифровых учрежденческих автоматических телефонных станций (УАТС). Цифровая УАТС не ограничива-

ется установлением телефонных соединений. Она может использоваться для обработки цифровых сигналов от вычислительных устройств и работать как шлюз между локальной и крупномасштабной сетями. Разработаны методы, позволяющие цифровому оборудованию разделять одну и ту же линию с телефонным аппаратом, причем они остаются независимыми друг от друга и могут одновременно связываться с разными устройствами. Подводя итоги, можно сказать, что хотя в настоящее время большинство кольцевых и шинных сетей передают данные со скоростью 10 Мбит/с, следует ожидать появления в ближайшие годы сетей со скоростью 50 или 100 Мбит/с, которые будут использовать кольцевые каналы, шины с передачей немодулированных сигналов или звездообразные системы (с УАТС в центре звезды). Вероятно, будут возрастать возможности сетей с передачей модулированных сигналов за счет усовершенствования физической среды передачи информации и устройств с более широкими диапазонами частот.

8.6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интерес к локальным сетям вырос очень быстро частично потому, что пользователи увидели в них дешевый способ объединения большого числа относительно недорогих устройств, и частично потому, что, казалось, они помогут разрешить некоторые проблемы совместимости различного оборудования. Конечно, недорогая локальная сеть могла предоставить отдельным устройствам возможность обмениваться информацией. Если связываемые сетью устройства используют различные наборы символов и протоколы высокого уровня, то сама локальная сеть редко может разрешить проблему совместимости. Здесь требуются сети, способные работать с различными протоколами и наборами символов и обеспечивающие их преобразование. Они значительно сложнее и дороже, чем основные локальные сети.

Следующее поколение локальных сетей будет состоять из систем передачи данных, на которых будут строиться эффективные интерфейсы, работающие с широким набором разнообразных устройств. Некоторые сети будут законченными системами, например, для автоматизации учреждений, которые поддерживают устройства, спроектированные для совместной работы в сети определенного типа. В такой системе сама локальная сеть будет всего лишь одним из ее компонентов.

Бо́льшая часть устройств, которые используют локальную сеть, будут в большей или меньшей степени «интеллектуальными», а «неинтеллектуальные» терминалы станут редкостью, поскольку они нуждаются в интерфейсе со значительными вычислительными возможностями для пользования сетью. Так как соединенные между собой устройства будут «интеллектуальными» и смогут выполнять прикладные программы, то сети станут полносвязными системами распределенной обработки информации.

Наиболее интересным аспектом локальных сетей можно считать возможности интеграции цифровых данных, речи, текстов и других видов информации в одной сети. При этом значительно экономятся средства на прокладку кабелей. Пока еще это далекая цель, поскольку существующие сети нацелены скорее на передачу данных и изредка включают возможности передачи речи. Системы с передачей модулированных сигналов, конечно, могут передавать любые виды информации, и, вероятно, именно они будут особенно быстро развиваться в сторону интегрального обслуживания. Соответствующее оборудование для интеграции передачи различной информации уже производится, хотя и в ограниченном количестве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

К главе 3

3.1 Davies, D. W. and Barber, D. L. A., *Communications Networks for Computers*, John Wiley, Chichester, 1973.

3.2 Davies, D. W., Barber, D. L. A., Price, W. L. and Solomonides, C. M., *Computer Networks and their Protocols*, John Wiley, Chichester, 1979.

3.3 Bleazard, G. B., *Why Packet Switching?*, NCC Publications, Manchester, 1979.

3.4 Penney, B. K. and Baghdadi, A. A., 'Survey of Computer Communication Loop Networks: Parts 1 and 2', *Computer Communications*, Volume 2 No. 4 (August 1979) 165–180; Volume 2 No. 5 (October 1979) 224–241.

К главе 4

4.1 Cole, R., *Computer Communications*, Macmillan, London, 1982.

4.2 Tanenbaum, A. S., *Computer Networks*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.

4.3 *Handbook of Data Communications*, NCC Publications, Manchester, 1982.

4.4 Scott, P R. D., *Modems in Data Communications*, NCC Publications, Manchester, 1980.

4.5 Scott, P. R. D., *Introducing Data Communications Standards*, NCC Publications, Manchester, 1979.

К главе 5

5.1 Davies, D. W., Barber, D. L. A., Price, W. L. and Solomonides, C. M., *Computer Networks and their Protocols*, John Wiley, Chichester, 1979.

5.2 Clark, D. D., Pogran, K. T. and Reed, D. P., 'An Introduction to Local Area Networks', *Proceedings of the IEEE*, Volume 66 No. 11 (November 1978) 1497–1517

5.3 Penney, B. K. and Baghdadi, A. A., 'Survey of Computer Communications Loop Networks: Parts 1 and 2', *Computer Communications*, Volume 2 No. 4 (August 1979) 165–180; Volume 2 No. 5 (October 1979) 224–241

5.4 Kleinrock, L., *Queueing Systems. Volume II Computer Applications*, John Wiley, Chichester, 1979.

5.5 Gee, K. C. E., *An Introduction to Open System Interconnection*, NCC Publications, Manchester, 1980.

5.6 International Organization for Standardization, *Reference Model for Open Systems Interconnection*, DIS 7498, ISO, Geneva (documents obtainable from National Standards bodies — British Standards Institution, London, in the UK).

5.7 Pritchard, J. A. T., *Quantitative Methods in On-Line Systems*, NCC Publications, Manchester, 1977.
5.8 Cole, R., *Computer Communications*, Macmillan, London, 1982, chapter 6.
5.9 Digital Equipment Corporation, Intel Corporation and Xerox Corporation, *The Ethernet: A Local Area Network Data Link Layer and Physical Layer Specification*, DEC, Intel and Xerox, September 1980 (obtainable from Xerox Corporation, OPD Systems Development, 3450 Hillview Avenue, Palo Alto, CA 94304, USA).
5.10 IEEE Computer Society Local Area Networks Standards Committee, *Functional Requirements Document*, Version 5.2, IEEE, New York, February 1981.

К главе 6

6.1 Digital Equipment Corporation, Intel Corporation and Xerox Corporation, *The Ethernet: A Local Area Network Data Link Layer and Physical Layer Specification*, DEC, Intel and Xerox, September 1980 (obtainable from Xerox Corporation, OPD Systems Development, 3450 Hillview Avenue, Palo Alto, CA 94304, USA).

К главе 7

7.1 Wilkes, M. V. and Wheeler, D. J., *The Cambridge Digital Communications Ring*, paper presented at the Local Area Communications Network Symposium, Boston, May 1979.
7.2 Davies, D. W., Barber, D. L. A., Price, W. L. and Solomonides, C. M., *Computer Networks and their Protocols*, John Wiley, Chichester, 1979.
7.3 Hayes, J. F., 'Local Distribution in Computer Communications', *IEEE Communications Magazine*, Volume 19 No. 2 (March 1981) 6–14.
7.4 Hopper, A., 'The Cambridge Ring — A Local Network', in F. K. Hanna (Editor), *Advanced Techniques for Microprocessor Systems*, Peter Peregrinus, Hitchin, Herts., 1980.

К главе 8

8.1 Price, S. G., *Introducing the Electronic Office*, NCC Publications, Manchester, 1979.
8.2 Welch, W. J. and Wilson, P. A., *Electronic Mail Systems — A Practical Evaluation Guide*, NCC Publications, Manchester, 1981.
8.3 Kirstein, P. T., Daniels, R., Burren, J., Griffiths, J. W. R., King, D., Needham, R. and McDowell, C., 'The UNIVERSE project', *Proceedings of the 6th International Conference on Computer Communications, London*, September 1982.

СПИСОК РАБОТ, ПЕРЕВЕДЕННЫХ НА РУССКИЙ ЯЗЫК

3.1. **Дэвис Д., Барбер Д.** Сети связи для вычислительных машин. М.: Мир, 1976. — 680 с.
3.2., 5.1, 7.2. **Вычислительные** сети и сетевые протоколы/Д. Дэвис, Д. Барбер, У. Прайс, С. Соломонидес. М.: Мир, 1982. — 562 с.
5.4. **Клейнрок Л.** Теория массового обслуживания. — М.: Машиностроение, 1979. — 356 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Д1. **Вейцман К.** Распределенные системы мини- и микро-ЭВМ: Пер. с англ./Под ред. Г. П. Васильева. — М.: Финансы и статистика, 1983. — 232 с.
Д2. **Прангишвили И. В.** Микропроцессоры и локальные сети микро-ЭВМ в распределенных системах управления. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 272 с.
Д3. **Прангишвили И. В., Подлазов В. С., Стецюра Г. Г.** Локальные микропроцессорные вычислительные сети. — М.: Наука, 1984. — 176 с.
Д4. **Вычислительные** сети (адаптивность, помехоустойчивость, надежность)/С. И. Самойленко, А. А. Давыдов, В. В. Золотарев, В. И. Третьякова. — М.: Наука, 1981. — 290 с.
Д5. **Локальные** вычислительные сети: опыт международной стандартизации. Сер. Методические материалы и документация по пакетам прикладных программ. — М.: МЦНТИ, 1984, вып. 27. 180 с.
Д6. **Богуславский Л. Б.** Управление потоками данных в сетях ЭВМ. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 168 с.
Д7. **Якубайтис Э. А.** Архитектура вычислительных сетей. — М.: Статистика, 1980. — 280 с.
Д8. **Якубайтис Э. А.** Локальные информационно-вычислительные сети. — Рига: Зинатне, 1985. — 284 с.
Д9. **Бойченко Е. В., Кальфа В., Овчинников В. В.** Локальные вычислительные сети. — М.: Радио и связь, 1985. — 304 с.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Аналоговая передача — передача непрерывно меняющегося сигнала.

Архитектура — концепция вычислительной системы или системы связи, определяющая ее функции, интерфейсы и процедуры.

Виртуальный канал — временное соединение двух удаленых сетевых процессов, образованное в существующем физическом канале или последовательности каналов, которое может использоваться службой передачи данных для передачи вызовов и данных от других процессов.

Высокоуровневая процедура управления каналом передачи данных HDLC — протокол, разработанный для передачи данных по каналу связи и независящий от передаваемых данных.

Главная ЭВМ — вычислительная машина, обеспечивающая хранение и обработку данных пользователей; на ней могут выполняться прикладные задачи и предоставляться услуги пользователям.

Дейтаграмма — одиночный пакет данных, который передается сетью независимо от других пакетов.

Интерфейс — аппаратное или программное средство сопряжения двух устройств или частей программного обеспечения.

Кабельное телевидение — широковещательная передача телепрограмм с помощью кабельных линий, идущих от центрального приемника.

Канал — средство для перемещения в пространстве информационных сигналов. Несколько каналов могут делить между собой одну и ту же физическую среду.

Коммутация — процесс в вычислительной сети или сети связи, посредством которого данные или некоторый вид обслуживания непосредственно представляются в распоряжение соответствующего пользователя.

Коммутация каналов — метод соединения друг с другом двух пользователей, состоящий в том, что данный канал выделяется для обслуживания только этих пользователей в течение всего сеанса связи.

Конфликт — ситуация, когда информационные сигналы пытаются в одно и то же время использовать один канал, в результате чего информация искажается.

Концентрация — функция соединения нескольких каналов связи с меньшим числом более скоростных каналов. Устройство, выполняющее эту функцию, называется *концентратором.*

Логическое соединение — соединение, в котором средства передачи информации не обязательно должны образовывать физический путь взаимодействия удаленных сетевых процессов.

Манчестерское кодирование — метод последовательной пересылки цифровой информации, в котором сочетаются сигналы, представляющие данные, и синхросигналы.

Международная организация по стандартизации — орган, способствующий разработке стандартов. Ее членами являются национальные организации, ответственные за стандартизацию в своих странах.

Международный консультативный комитет по телеграфной и телефонной связи (МККТТ) — международный орган, который координирует деятельность национальных органов связи.

Многоточечное соединение — канал, который соединяется с несколькими различными вычислительными и терминальными устройствами.

Множественный доступ с контролем несущей (CSMA) — метод разделения общего канала между несколькими пользователями. Перед тем, как приступить к передаче информации, отправитель проверяет канал на наличие в нем сигнала несущей, что указывает на занятость канала. Если сигнал не обнаружен, то отправитель может начать передачу информации.

Модем — устройство, превращающее цифровые сигналы в аналоговые для последующей передачи по каналу. Модем выполняет и обратное преобразование.

Уплотнение — использование одного физического канала для двух или более одновременных и независимых передач. Устройство, выполняющее эту функцию, называется *мультиплексором*.

Оконечный пользователь — лицо, пользующееся системой обработки информации.

Опрос — процесс последовательного назначения терминалов или других устройств для передачи информации так, чтобы в каждый момент времени передачу осуществлял только один терминал.

Пакет — блок данных определенного формата, содержащий управляющие и информационные поля.

Пакетная коммутация — понятие, использующееся по отношению к сетям передачи данных, спроектированных для передачи информации в виде пакетов. Данные в пакетах поступают в сеть, которая, пользуясь управляющими полями пакетов, передает данные по адресу назначения.

Приемопередатчик — устройство, объединяющее передатчик и приемник, через которое обеспечивается доступ к сети.

Повторитель — устройство для регенерации, усиления и повторной передачи сигнала.

Прикладная программа или программное обеспечение — набор команд ЭВМ, непосредственно связанный с выполняемой на ЭВМ прикладной задачей.

Прикладная задача — задача, связанная с пользователем, которая может выполняться с использованием вычислительной системы.

Прозрачность — канал связи называется прозрачным, если он никаким образом не изменяет содержание сообщений, передающихся через него.

Протокол — набор правил, обеспечивающих имеющую смысл связь между взаимодействующими партнерами.

Распределенная база данных — организованный определенным образом набор данных, который может разбиваться или копироваться, а также храниться в нескольких различных местах в распределенной вычислительной системе.

Распределенная обработка данных — распределение обработки информации в нескольких разных местах.

Распределенная система — система обработки информации, в которой несколько процессоров, находящихся в разных местах, соединены друг с другом таким образом, что они могут взаимодействовать друг с другом при решении задач.

Реальное время — термин, который обычно используется для описания ситуации, когда ЭВМ используется для непосредственного уп-

равления и слежения за реальными процессами (например, за производственным процессом).

Ресурс — элемент аппаратного или программного обеспечения системы, который обслуживает пользователя (например, печатающее устройство, файл вычислительной системы).

Сессия — когда два вычислительных процесса, пользователя, ресурса или другие компоненты сети соединены друг с другом с целью обмена информацией, то говорят, что они образуют сессию.

Система — автономная совокупность ЭВМ, их программного обеспечения, внешних устройств, терминалов, пользователей и пр., способная осуществлять обработку информации.

Соединение открытых систем — стандартизованные процедуры для обмена информацией между терминалами, ЭВМ, людьми, сетями и т. д.

Сообщение — логически связанный набор данных, предназначенный для передачи.

Состязание — ситуация, когда два или более пользователей пытаются использовать канал одновременно.

Станция — адресуемый элемент сети.

Терминал — устройство, позволяющее оконечному пользователю вводить данные в систему обработки информации и получать данные из этой системы.

Узел — точка сопряжения двух или более каналов связи. В вычислительных сетях обычно служит для обозначения места, где выполняется обработка данных.

Уровень — набор логически связанных функций, объединенных в архитектуре вычислительной сети для выполнения определенной задачи.

Файл — организованный определенным образом набор данных, доступ к которому осуществляется по его имени.

Физическое соединение — канал передачи данных (одиночный или составной) между двумя или бо́льшим числом пользователей, обычно состоящий из кабелей, по которым передаются сигналы.

Ширина полосы частот — разность между самой высокой и самой низкой частотами, которые могут быть использованы для передачи.

Шлюз — вычислительная система или устройство в сети, позволяющее осуществлять связь с другой сетью.

ОГЛАВЛЕНИЕ

70 к.



«Радио и связь»

К. Ги Введение в локальные вычислительные сети